

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. F. Jung)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Experimentelle Untersuchungen zahnärztlicher
Präparationsvorgänge unter Verwendung
des Mikromotors

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
Gerhard Haller
Zahnarzt
aus Besigheim

Mainz 1968

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. F. Jung)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZAHNÄRZTLICHER
PRÄPARATIONSVORGÄNGE UNTER VERWENDUNG
DES MIKROMOTORS

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
GERHARD HALLER
Zahnarzt
aus Besigheim

Mainz 1968



Dekan: Prof. Dr. Dr. G. Thews

Referent: Priv. Doz. Dr. K. Fuhr

Korreferent: Prof. Dr. F. Jung

INHALTSVERZEICHNIS

- I. Einleitung
- II. Zur Entwicklung zahnärztlicher Präparationsinstrumente
- III. Literaturübersicht
- IV. Eigene Untersuchungen
 - 1. Versuchseinrichtung
 - a) Schleifer
 - b) Schleifmaterial
 - 1. Zähne
 - 2. Kunststoff
 - c) Mikromotor
 - d) Drehzahlbereiche
 - e) Befestigung des Versuchsmaterials
 - f) Arbeitsdruck und Schleifdauer
 - g) Temperaturmessung
 - 1. Registriergerät
 - 2. Thermoelement
 - h) Schlifffläche bei Zähnen und Kunststoff
 - i) Feststellung der Schleifleistung
 - 2. Versuchsanordnung
 - 3. Ergebnisse experimenteller Untersuchungen
 - a) Drehzahlmessung am Mikromotor
 - b) Temperaturmessung am Mikromotor
 - c) Schleifleistung in verschiedenen Drehzahlbereichen
 - d) Schleifleistung unter verschiedenen Andrücken
 - e) Temperaturmessung an Zähnen
- V. Graphische Darstellungen der experimentellen Untersuchungen
- VI. Zusammenfassung
- VII. Literaturverzeichnis

1. Einleitung

In den letzten zehn Jahren vor allem wurden Bestrebungen deutlich, für zahnärztliche Präparationsvorgänge höhere Drehzahlen einzusetzen: In zunehmendem Maße setzt sich das "hoch- und höchsttourige" Bohren und Schleifen durch, wenn auch die Miniatur-Dental-Turbinen bislang die elektrisch angetriebene Bohrmaschine nicht völlig verdrängen konnten, deren Nachteil hauptsächlich in ihrem beschränkten Drehzahlbereich gesehen wird. Die Entwicklung geht nun dahin, auch die konventionelle elektrische Bohrmaschine auf diesem Gebiet zu erweitern. Die hohen Umdrehungszahlen bedingen eine Reihe biologischer und technischer Probleme, die in Untersuchungen zum hoch- und höchsttourigen Bohren und Schleifen diskutiert werden.

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein neuentwickelter Bohr- und Schleifantrieb, der Mikromotor, mit seinen verschiedenen über- und unteretzten Hand- und Winkelstücken untersucht werden. Von besonderem klinischen Interesse sind dabei die verschiedenen Drehzahlbereiche und die am Motor entstehende Wärme. Experimentelle Untersuchungen mit dem Mikromotor sollen Zusammenhänge zwischen Umdrehungsgeschwindigkeit, Andruck auf den Prüfkörper, entstehende Temperatur des Prüfkörpers und Schleifleistung vermitteln.

II. Zur Entwicklung zahnärztlicher Präparationsinstrumente

Nach GALENUS benutzte ARCHIGENES aus Syrien einen Zahnbohrer, der einem einfachen Drillbohrer ähnlich war. Mit ihm wurden schmerzende Zähne bearbeitet, um sie zu heilen und im Munde zu erhalten (EICHNER (5)). 1872 entwickelte MORRISON aus einem Spinnrad die Fußtrittbohrmaschine, mit der ca. 800 Umdrehungen in der Minute (U/min) erzielt werden konnten. Ein geändertes Übersetzungsverhältnis von Schwungrad und Rolle verbesserte seine Drehzahl auf 2000 U/min (GÄRTNER (15)). 1887 demonstrierte SCHNEIDER eine regulierbare, elektrische Bohrmaschine, die in den folgenden Jahrzehnten perfektioniert wurde. HUET wies 1930 darauf hin, daß eine gesteigerte Umdrehungsgeschwindigkeit der zahnärztlichen Präparationswerkzeuge die Schleifleistung ansteigen läßt (GÄRTNER (15)). Erst nach dem zweiten Weltkriege aber erlaubten neue mechanische Übersetzungsglieder bei der elektrischen Bohrmaschine Drehzahlen bis ca. 40 000 U/min. Mit dem Kerr-Handstück (1956), das mit der fünffachen Übersetzung der vom Antrieb erzeugten Drehzahl arbeitet, lassen sich 100 000 U/min erreichen.

NORLEN (28) beschrieb 1956 eine manuell regulierbare luftgetriebene Turbine (Dentalair), die Umdrehungszahlen bis 50 000 U/min erreicht. Höchste Umdrehungszahlen gestattete die Miniatur-Dental-Turbine. Die von BORDEN entwickelte Miniatur-Dental-Turbine erreicht bis zu 300 000 U/min (Airotor). Nun gibt es luftgelagerte Dental-Turbinen, die Drehzahlen bis zu 600 000 U/min (Air-Orbit) erlauben.

Die Turbinen brachten Vorteile für den Patienten und den behandelnden Zahnarzt. Der Patient empfindet den Wegfall der Vibrationsempfindung als angenehm. Für den behandelnden Zahnarzt steht die Leichtigkeit der Präparation und die Exaktheit durch den vibrationsfreien Lauf im Vordergrund. Dagegen bedingen die höchsten Drehzahlen bei unrichtigem Einsatz Temperatursteigerungen. Ebenso verursachen sie durch

Luftaustritt während der Präparation einen hohen Pfeifton. Ihr Drehmoment ist gering und niedrige Drehzahlen, die bei der zahnärztlichen Behandlung benötigt werden (z.B. bei Caries profunda), erlauben sie nicht. Der Zahnarzt kann auf den niedertourigen Bereich der konventionellen Bohrmaschine nicht verzichten. Es werden daher Bestrebungen verständlich, alle zahnärztlichen Bohr- und Schleifarbeiten mit einem Antriebsaggregat durchführen zu können. Eine Neukonstruktion auf diesem Sektor stellt der Mikromotor¹⁾ dar, bei dem auf konventionelle Bohrantriebe über Schnüre und Gestänge verzichtet wird: Die Verbindung zur Dental-Einheit stellt lediglich ein flexibler Schlauch dar, durch den die Versorgung mit Strom, Wasser und Luft vorgenommen wird. Der Elektromotor wird am Schlauchende aufgeschraubt, an ihm können die jeweils benutzten verschiedenen Hand- und Winkelstücke montiert werden.

1) Hersteller: Firma Siemens AG, Erlangen.

III. Literaturübersicht

Durch die gesteigerten Umdrehungszahlen bei zahnärztlichen Bohr- und Schleifinstrumenten tauchten eine Reihe von Problemen auf. So wurde es für den praktischen Gebrauch wichtig, Fragen der Schleifleistung bei allen Umdrehungszahlen zu beantworten. Ebenso bedeutungsvoll war der anzuwendende Druck beim Präparieren der Zahnhartsubstanz und die dabei auftretenden Temperaturen in der Pulpa (EICHNER (8), FECHNER (9), FUHR (11, 13, 14), GÄRTNER (15), GRIGULL (16), HERMANN (20), HOFMANN (22), KLOS und ROTTKE (24), MAYER (25), RICHTER und STÜBEN (27), POLMANN-MOOY (29, 30), SÄNGER (32), SCHEER (33), STROH (37), THIEL (41), WALLAU (42), WALSER (43), WALTER und LEINE-WEBER (44)).

Es wurde der Frage des Trocken- oder Naßschleifens genauso nachgegangen (GÄRTNER (15), POLMANN-MOOY (30)), wie den Pulpenveränderungen und den auftretenden Vibrationen in allen Drehzahlbereichen (FUHR (11), SCHEPERS (34), STEIN (36), WEDER (45)).

Auf einige dieser Punkte soll näher eingegangen werden, um die unterschiedlichen Methoden und Versuchsbedingungen der einzelnen Autoren aufzuzeigen, aus denen sich die zu untersuchende Problematik ergibt.

FUHR (11) stellt fest, "daß die zahnärztliche Arbeitsweise sich von der bislang anerkannten und empfohlenen dadurch unterscheiden sollte, daß Bohrer oder Schleifer mit ihrer idealen linearen Geschwindigkeit (I.L.G.) unter geringer Druckanwendung ziehend, streichend an der zu bearbeitenden Fläche entlanggeführt werden. Es soll vermieden werden, daß das Instrument auf derselben Stelle verbleibt, weil hierbei die Hitzeentwicklung stark ansteigt und die Ausbeuteleistung sinkt." Die unterschiedlichen und nicht reproduzier-

baren Ergebnisse vieler Autoren sollen durch das Nichtbeachten dieser physikalischen Gegebenheiten zustande gekommen sein. MAYER (25) glaubt, daß der Vorteil experimenteller Untersuchungen darin besteht, daß sie bei richtiger Durchführung exakte Ergebnisse liefern. Es fehlen allerdings weitere Ausführungen darüber, was unter "richtiger" Durchführung zu verstehen ist.

So wurden z.B. für experimentelle Untersuchungen zahnärztlicher Präparationen an der Mainzer Universitätsklinik eine Vielzahl von Versuchsaapparaturen entwickelt, die u.a. FUHR (12), THIEL (41) und WALLAU (42) verwendeten. Sie erlaubten, die Schleifproben senkrecht und waagerecht an das fest eingespannte Handstück heranzuführen. Damit erzielte WALLAU (42) Umdrehungsgeschwindigkeiten bis zu 32 500 U/min. Ein weiteres Gerät, das bei FUHR (12), SÄNGER (32), SCHEER (33) und WALSER (43) zur Anwendung kam, erlaubte eine Leistungsprüfung bei rotierenden Bewegungen des Bohrers und bei ständig wechselnder seitlicher Verschiebung. GÄRTNER (15) führte Versuche an einer Apparatur durch, die es erlaubte, die Schleifproben bei verschiedenen Belastungen an das fest fixierte Schleifinstrument heranzuführen. Die Versuchsanordnung von POLMANN-MOOY (30) gestattete ein "intermittierendes" Schleifen bei genauer Angabe des Andrucks. Bei HELM (18) dagegen finden sich keine Angaben über die angewandten Drücke bei den beschriebenen Versuchen. Die Angaben über die Andricke schwanken zwischen 20 und 250 Gramm (g). Die Forderung, nur geringe Andricke zu gebrauchen, kann demnach nicht bei allen Versuchseinrichtungen erfüllt werden.

Auch die Angaben über die jeweilige Schleifdauer schwanken stark. Die kürzeste Zeit von nur 3 Sekunden (sec) für den einzelnen Versuch verwenden GÄRTNER (15) und KLOS und ROTTKE (24). Bei ADLER (1) kommen 5 sec zur Anwendung. GRIGULL (16), SCHEER (33) und WALSER (43) folgen mit 30 sec. Bei FECHNER (9) und HOFMANN (22) liegen die Zeiten für die einzelnen Versuche zwischen 41 und 200 sec,

bzw. 37 und 148 sec. Die Versuche von WALLAU (42) erstrecken sich teilweise über eine Zeit von 10 Minuten.

Auch das Schleifmaterial ist nicht einheitlich. Zähne weisen keine homogene Struktur auf. Nach SÄNGER (32) unterliegt der Mineralisationszustand des Zahnschmelzes "u.a. individuellen, altersmäßigen und - am Zahn selbst - lokalen Schwankungen". Werden aber andere Materialien verwandt, so ist es oft nur schwer möglich, die Versuchsergebnisse für die Praxis nutzbar zu machen. So stellte MAYER (25) fest: "Wenn die Drehzahl von 320 000 U/min auf 420 000 U/min erhöht wird, verringert sich bei Elfenbeinversuchen die Temperatur um ca. 1/3, vergrößert sich aber bei Dentinversuchen auf das Doppelte".

Neben Elfenbein (ADLER (1), GÄRTNER (15), POLMANN-MOOY (30)) wird oft Amalgam (ADLER (1), GÄRTNER (15)), Schwerflintglas (GÄRTNER (15), SÄNGER (32), STROH (37), WALSER (43)) und eine Kunstharzpreßmasse (FUHR (12), WALSER (43)) verwandt. STEIN (36) benutzte bei seinen Untersuchungen Zähne und stellte an 20 Zähnen für Schmelz eine Härte differenz nach Vickers von 309,2 - 331,9 kg/mm² fest. ATKINSON und SAUNSBURY (2) unterscheiden noch zwischen älteren bleibenden Zähnen mit einer Vickershärte für Schmelz von 301,6 kg/mm² und jüngeren bleibenden Zähnen mit einer Vickershärte von 323,2 kg/mm².

GÄRTNER (15) setzte zu seinen Versuchen extrahierte Zähne ein, die bis zum Schleifversuch in 10 %iger Formalinlösung aufbewahrt wurden. HELM (18) bewahrte die Zähne in Leitungswasser von Zimmertemperatur auf. BOHLMANN (3) benutzte frisch extrahierte, nicht kariöse, menschliche Prämolaren und Molaren. POLMANN-MOOY (30) verwendet Prüfkörper aus Dentin extrahierter menschlicher Molaren. Ebenso prüfen KLOS und ROTTKE (24) frisch extrahierte, vitale und nicht kariös veränderte Molaren.

Bei den eingesetzten Schleifern und Bohrern wurde nur von wenigen Autoren (HOFMANN (21), THIEL (41)) darauf hingewiesen, daß die Leistung der zahnärztlichen Schleifinstrumente stark schwankt.

SCHEER (33) benutzte neue in Kombination mit bereits gebrauchten Schleifern und errechnete Mittelwerte aus den Ergebnissen. Diese Methode wird ebenso wie die, bei der nur neue Schleifer zur Anwendung kommen, nicht reproduzierbar sein.

Auch bei den Temperaturmessungen bestehen Unterschiede in der Versuchsanordnung und im Ergebnis unter den einzelnen Autoren. Bei der Bearbeitung von Zahnhartsubstanzen interessiert weniger die entstehende Wärmemenge¹⁾, als vielmehr die Temperatur²⁾ des Zahnes und hier besonders seine Innentemperatur, die durch die Wärmemenge hervorgerufen wird. Die Temperatur, die gemessen werden soll, hängt maßgebend von der Wärmeleitfähigkeit³⁾ und Wärmekapazität⁴⁾ ab (FUHR (11)). Über die Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit finden sich verschiedene Angaben. Nach HENSEL und MANN (19) ist für Schmelz und Dentin die Temperaturleitzahl $0,0018 \text{ cm}^2/\text{sec}$. Trennende Werte zwischen Schmelz und Dentin geben nach HOF-MANN (22) B.C. SOYENKOFF und J.H. OKAN an: Für die Wärme-

1) Wärmemenge: Energieform, die einem Körper entzogen oder zugeführt werden kann und die molekulare Energie des Körpers verändert.

2) Temperatur: Mittlere kinetische Energie der einzelnen Moleküle eines bestimmten Körpers. Durch Wärmezufuhr oder Wärmeentzug wird die mittlere Energie (=Temperatur) verändert.

3) Wärmeleitfähigkeit (nach GRINSEHL (17)): Die Wärmemenge eines Körpers in Kalorien (cal), die in 1 sec durch den Querschnitt von 1 cm^2 einer 1 cm dicken Platte hindurchgeht, wenn auf beiden Seiten ein Temperaturunterschied von 1°C herrscht.

4) Wärmekapazität (nach WESTPHAL (46)): Quotient aus der einem Körper zugeführten Wärmemenge und der dadurch hervorgerufenen Änderung seiner Temperatur.

leitfähigkeit von Schmelz wird ein Mittel von 0,00155 cal/cm.sec.Grad angegeben und für Dentin von 0,00107 cal/cm.sec.Grad. RICHTER und STÜBEN (27) ermittelten für Schmelz eine Temperaturleitzahl von 0,0025 cm²/sec und eine Wärmeleitfähigkeit von 0,00176 cal/cm.sec.Grad. Die Werte für Dentin lauten: 0,0027 cm²/sec und 0,00187 cal/cm.sec.Grad.

Zum Registrieren der Temperatur im Pulpenkavum werden überwiegend Thermoelemente benutzt, die sich lediglich in den verwendeten Metallen unterscheiden.

WALTER und LEINEWEBER (44) sehen im dünnen Palaplat-Element (Drahtstärke 0,1 mm) den Vorteil der kleineren Wärmekapazität, im Eisen-Konstantan-Element (Drahtstärke 0,5 mm) dagegen die größere Thermokraft. WALLAU (42) benutzte ein Kupfer-Konstantan-Element, HELM (18) und POLMANN-MOOY (30) Eisen-Konstantan-Elemente. VAN THIEL und KLÖTZER (40) beschreiben ein aus zwei verschiedenen Nickellegierungen bestehendes Thermoelement.

HELM (18), STÜBEN (39) u.a. weisen darauf hin, daß die Drahtstärke der Thermoelemente von Bedeutung ist für die Temperaturmessung. Die Metalldrähte besitzen eine größere Wärmeleitfähigkeit als die Zahnhartsubstanzen. Ein dicker Draht wird somit der Zahnhartsubstanz mehr Wärme entziehen als ein dünner Draht und als Folge niedrigere Temperaturwerte registrieren.

Wird das Thermoelement in ein Bohrloch geführt, so bestehen unterschiedliche Meinungen darüber, wie der verbleibende Zwischenraum ausgefüllt werden soll. Es wird die Forderung erhoben, daß das Füllmittel mit dem Versuchsmaterial in Wärme- und Temperaturleitfähigkeit übereinstimmen soll (RICHTER und STÜBEN (42)).

KLOS und ROTTKE (24) weisen darauf hin, daß ein mit Wachs oder Luft angefüllter Kapillarspalt "auf Grund des schlechten Wärmeüberganges durch seine isolierende Wirkung die Meßergebnisse bedeutend verfälschen" kann. Trotzdem wird von den meisten Autoren das Bohrloch neben dem Thermoelement nur von Luft ausgefüllt. Nach

HELM (18) zeigt das Thermoelement, wird es von Luft umgeben, eine zu niedrige Temperatur an, da die Luft eine zu niedrige Wärmeleitfähigkeit besitze und dem Thermoelement nur zögernd die effektive Temperatur mitteilt. Quecksilber, mit viel höherer Wärmeleitfähigkeit und höherer Temperaturleitzahl als Dentin, zeigt zu hohe Temperaturen an. SCHEER (33) und WALLAU (42) verschließen das Bohrloch mit Lötzinn, wie es auch zum Verlöten der Metalldrähte des Thermoelementes benutzt wird. WALTER und LEINEWEBER (44) versuchen, mit einem Reogan-Wasser-Brei die Wärmeleitungsverhältnisse des vitalen Zahnes nachzuahmen und eine optimale Wärmeübertragung zu erreichen. Dem stehen die Aussagen von GRIGULL (16), HELM (18) und STÜBEN (39) gegenüber, die ein Zement (Plastemail) verwandten. Sie glauben, das dem Dentin in Wärme- und Temperaturleitzahl weitgehend entsprechende Material gefunden zu haben.

Die zitierten Vergleiche zwischen den Aussagen verschiedener Autoren zeigen die bislang ungelöste Problematik zahnärztlicher Präparationsvorgänge. Demnach ist es schwierig, exakte und reproduzierbare Ergebnisse durch die Versuchsanordnung zu erhalten. Eine Lösung der Probleme beim zahnärztlichen Präparieren zu finden, scheint so lange nicht möglich, bis nicht vereinheitlichte und erprobte Prüfmethoden angegeben werden können.

IV. Eigene Untersuchungen

1. Versuchseinrichtung

a) Schleifer

Für die Schleifversuche standen Diamantschleifer¹⁾ zur Verfügung. Es handelte sich um leicht konische Walzen mit einem Funktionsende von 6,5 mm. Der größte Durchmesser, der mit einem Zehntelmaß ermittelt wurde, betrug 1,75 mm, der geringste 1,23 mm (Katalog Nr.118).

b) Schleifmaterial

- 1) Zähne: Für die Versuche waren Zähne mit großer Kaufläche notwendig. Da frisch extrahierte, nicht kariös veränderte Molaren nicht in ausreichender Menge zur Verfügung standen, wurden alte, guterhaltene Molaren von etwa gleicher Form und gleichem Gewicht verwandt. Die Wurzeln und Höcker wurden parallel zueinander plangeschliffen. Parallel zur plangeschliffenen Kaufläche wurde ein kleines Bohrloch in 5 mm Abstand angebracht, wodurch ein Thermoelement bis zum Pulpdach geführt werden konnte (Abbildung 1a und 1b).
- 2) Kunststoff: In Anlehnung an FUHR (12), HERMANN (20), HOFMANN (21), SCHEER (33) und WALSER (43), wurde als weiterer Prüfkörper die Kunstharzpreßmasse Alberit²⁾ verwandt. Das Material wurde deswegen gewählt, weil im Gegensatz zur unterschiedlichen Struktur nativer Zähne eine stets homogene Zusammensetzung erwartet werden konnte. Alberit besteht zu 54,3 % aus anorganischer und zu 45,7 % aus organischer Substanz. Das spezifische Gewicht beträgt 1,8 und gleicht dem des Dentins. "Bei Temperaturen über 100 °C wird Alberit nicht weich und verschmiert den Bohrer nicht (SCHEER (33)).

1) Hersteller: Firma Drendel und Zewiling, Berlin.

2) Hersteller: Firma Albert, Chemische Werke, Wiesbaden.

Die Härte von Alberit wird mit 4 Mohs angegeben.

Die Abmessung der Alberit-Klötzchen betrug 20 x 11 x 10 mm.

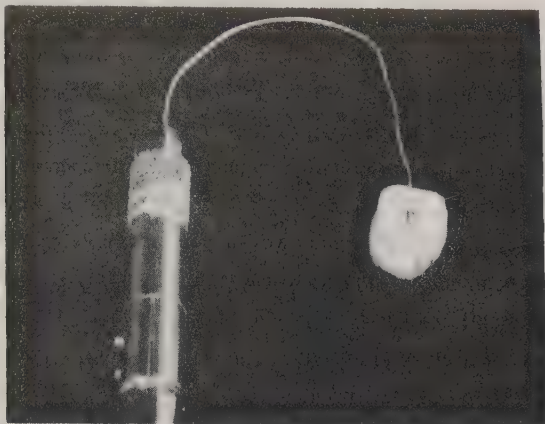


Abb. 1a

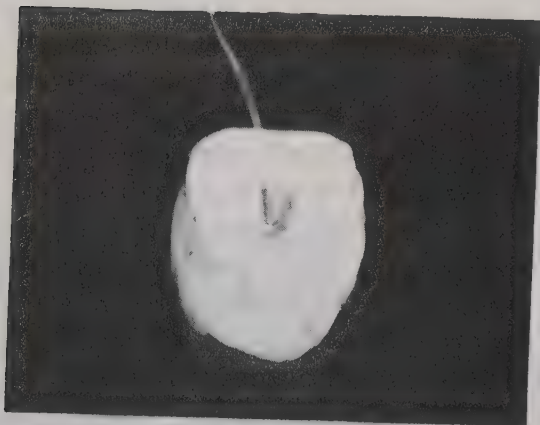


Abb. 1b

c) Mikromotor

Nach RING (31) ist "die Entwicklung der Bohr- und Schleifgeräte noch immer im Fluß. Die Tatsache, daß man heute noch nicht auf die konventionelle Bohrmaschine für die niedrigen Drehzahlen verzichten kann, andererseits eine größere Lücke klappt für die Tourenbereiche von 800 - 120 000 U/min, zwingt zur Suche nach neuen Wegen, um die elektrische Bohrmaschine ganz zu ersetzen und Geräte zu entwickeln, die alle Drehzahlbereiche in einer Ausführung liefern. Der größte Nachteil der konventionellen elektrischen Bohrmaschine ist der Schnur-antrieb über das Doriotgestänge. Er bringt infolge von Reibungswiderständen zwangsläufig einen großen Verlust an Energie und damit geringere Geschwindigkeiten mit sich".

Mit dem Mikromotor dürften einige Mängel, die von RING (31) aufgezählt werden, hinfällig geworden sein. Während bei der konventionellen elektrischen Bohrmaschine die Nachteile hauptsächlich im Doriotgestänge zu suchen sind und die begrenzten Drehzahlen nur über relativ komplizierte und aufwendige Gelenkrollenübersetzungen vergrößert werden können, liegt bei der Miniatur-Dental-Turbine der Nachteil im kleinen Drehmoment. Es bedingt eine geringe Durchzugskraft, was sich insbesondere für die niedrigen Drehzahlbereiche nachteilig auswirkt. Diese Nachteile fallen beim Mikromotor weg, ebenso die von RING (31) beschriebene Lücke für die Drehzahlbereiche von 800 - 120 000 U/min.

Abbildung 2 zeigt das Mikromotor Standgerät und Abbildung 3 den Mikromotor mit den dazugehörigen Winkelstücken und dem Handstück. Dieses neuartige Gerät schließt den Antriebsmotor an das Winkel- und Handstück unmittelbar an. Durch einen Schwenkhebel läßt sich die Drehrichtung des Mikromotors auf Rechts- und Linkslauf stellen. Ein Schlauch für Strom, Luft und Wasser verbindet den Mikromotor mit der Dental-Einheit. Der Kompressor der Dental-Einheit liefert die für die Kühlung des Mikromotors nötige Preßluft und gleichzeitig Luft für die Kühlung des Bohr- oder Schleiffeldes. Die Spraywasser-

Abb. 2

Mikromotor Standgerät

- 1) Winkelstück
- 2) Mikromotor
- 3) Schieber für Drehzahl-
vorwahlsystem
- 4) Schwenkhebel für
Rechts- und Linkslauf
- 5) Regelknopf für Luft-
anteil des Kühlsprays
- 6) Flachstarter

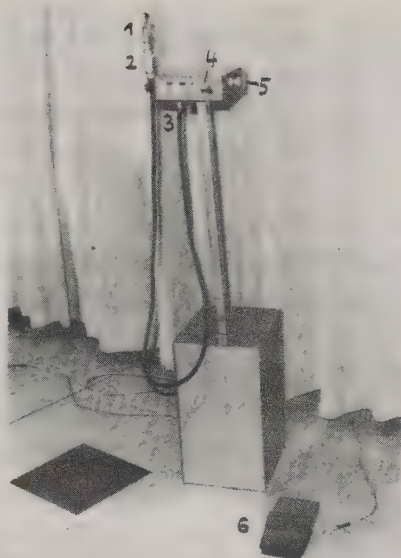
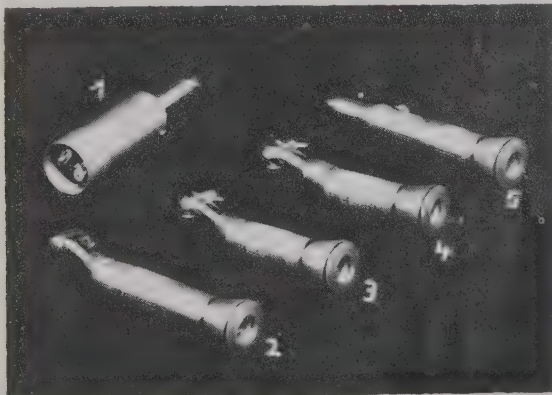


Abb. 3

- 1) Mikromotor.
- 2) Winkelstück für grünen Drehzahlbereich (600 - 6 000 U/min).
- 3) Winkelstück für blauen Drehzahlbereich (4 000 - 40 000 U/min).
- 4) Winkelstück für roten Drehzahlbereich (12 000 - 120 000 U/min).
- 5) Handstück für blauen Drehzahlbereich (4 000 - 40 000 U/min).



kühlung wird - nach Angaben der Herstellerfirma - "in einem Erhitzer wirksam vorgewärmt". Dem Spraywasser kann durch einen Regelknopf ein variierbarer Luftanteil zugegeben werden. Der Kühlspray wird durch ein dünnes Kunststoffröhrchen geleitet, das am Mikromotor vorbei direkt an eine Düse am Kopf des Hand- bzw. Winkelstückes ansetzt und abnehmbar ist. Der Motor arbeitet durch Niedertreten des Flachstarters. Für den Mikromotor wurden ein Handstück und drei Winkelstücke entwickelt, deren Gewicht zwischen 30 und 40 g liegt. (Die Gewichte üblicher maschinell angetriebener Hand- und Winkelstücke betragen zwischen 70 und 80 g). Der Mikromotor selbst wiegt 73 g. Durch die geringe Länge der Winkelstücke und des Mikromotors lassen sich beide in der Hand gut ausbalancieren. Die Gesamtlänge von Mikromotor und Winkelstück liegt zwischen 14 und 16 cm.

d) Drehzahlbereiche

Die Skala des Vorwahlsystems zeigt Drehzahlen von 600 - 120 000 U/min an. Die Drehzahlen werden in drei Drehzahlbereiche unterteilt, die durch Farbsymbole gekennzeichnet sind:

Symbol	Drehzahlbereich				
grün	600	2 000	4 000	6 000	U/min
blau	4 000	10 000	20 000	30 000	40 000 U/min
rot	12 000	40 000	80 000	120 000	U/min

Die einzelnen Drehzahlbereiche sind durch einen Schieber (Abb. 2) am Vorwahlsystem manuell einstellbar, können aber bei laufendem Mikromotor stufenlos reguliert werden. Die für den Mikromotor konstruierten Winkelstücke und das Handstück sind durch Farbringe gekennzeichnet und für den entsprechenden Drehzahlbereich geeignet.

e) Befestigung des Versuchsmaterials

Sowohl die Zähne als auch die Kunststoffklötzchen wurden an ihrer Unterfläche plan geschliffen und mit "Pattex", einem Spezialkleber, auf einer Folie befestigt, die ihrerseits an einer Leichtmetallplatte der Versuchseinrichtung angebracht war.

f) Arbeitsdruck und Schleifdauer

Nach FUHR (10, 13) sind Andrucke bis 150 g klinisch vertretbar. Mehrere Autoren fordern für das Präparieren eines Zahnes das tupfend-wischende Schleifen (z.B. POLMANN-MOOY (29)) oder ein ständiges Hin- und Herbewegen des Instrumentes (FUHR (11), HOFMANN (23)).

Wie Vorversuche zeigten, ergaben geringere Andrucke als 150 g bei kleinen Zeitintervallen keine meßbare Schleifleistung, so daß zu höheren Drücken und Zeiten übergegangen wurde. Dabei steigt die Schwierigkeit, aus den experimentell ermittelten Werten Aussagen für die klinische Anwendung zu machen. Es kamen Andrucke von 160, 180 und 200 g zur Verwendung bei Schleifzeiten von je 30 und 60 sec.

g) Temperaturmessung

1. Registriergerät

Die Versuche im Rahmen dieser Arbeit zielten unter anderem darauf ab, Aussagen über das Verhältnis zwischen der Schleifleistung und der beim Präparieren des Zahnes am Pulpdach entstehenden Temperatur zu vergleichen. Zur Registrierung stand eine Meßbrücke¹⁾

zur Verfügung, die mit einem Mikro-Thermoelement verbunden wurde. Die Messung beruht auf dem Prinzip, daß die Temperatur in eine Spannung verwandelt wird. Die Spannung wird durch eine automatische

1) Hersteller: Philips. Typenbezeichnung: Automatische Meßbrücke

Kompensation, d.h. in stromlosem Zustand, mittels eines Servosystems gemessen. Das Gerät erlaubt Absolut- und Differenzmessungen. weiterhin können verschiedene Meßbereiche eingestellt werden. Die Meßbrücke registriert mittels eines Meßwagens mit Schreibspitze die der Spannung entsprechende Temperaturdifferenz auf Registrierpapier, das mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/min an der Schreibspitze vorbeigezogen wird. Die Genauigkeit der Temperaturanzeige beträgt $\pm 0,25\%$ im Hinblick auf die Standardkurve des Thermoelementes. Mit Hilfe von Vorschaltwiderständen wurde der Meßbereich auf 2 Milli-Volt (mV) beschränkt. Dies erlaubte die Anzeige von 0 - 50 °C.

2. Thermoelement

Thermoelemente sind für die Temperaturmessung besser geeignet als Thermometer, da sie sehr genau sind, schnell ansprechen und infolge ihrer geringen Masse der zu untersuchenden Substanz keine nennenswerte Wärmemenge entziehen (VAN THIEL und KLÖTZER (40)), d.h. ihre Wärmekapazität ist kleiner als z.B. die eines Quecksilberthermometers. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß sie aus dünnen Drähten hergestellt sind und in eine sehr enge Öffnung eingeführt werden können.

Zur Verdeutlichung der Wirkungsweise eines Thermoelementes kann nach STUART (38) folgendes gesagt werden: Schaltet man zwei verschiedene Metalle zu einem geschlossenen Kreis zusammen, so entstehen an den Lötstellen "Berührungsspannungen", die sich gegenseitig aufheben. Werden die Lötstellen dagegen auf verschiedene Temperatur gebracht, dann entsteht infolge der Temperaturabhängigkeit der Berührungsspannungen eine Spannungsdifferenz, die sogenannte Thermospannung. Als Thermoelement wird ein Metallpaar bezeichnet, das bei Erwärmung der einen Lötstelle einen Thermostrom liefert. "Die Spannung wächst mit der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Lötstellen, und zwar weitgehend proportional" (STUART (38)). Die verwandten Thermoelemente bestehen aus einem biegbaren Stahl-

mantel, in dem zwei aus verschiedenen Nickellegierungen hergestellte Drähte verlaufen. Die Drähte sind durch Magnesiumoxyd voneinander isoliert. Durch den Stahlmantel werden die Drähte vor Feuchtigkeit geschützt. Die Lötstelle wird nur durch eine dünnwandige Metallkapsel geschützt und mit dem Stahlmantel hart verlötet. Abbildung 4 zeigt die Lötstelle des Thermoelementes.



Abb. 4
Lötstelle des Mikro-
thermoelementes

Mit einem Thermoelement läßt sich an den beiden Lötstellen ein Temperaturunterschied auf einem Anzeigeinstrument ablesen. Eine Lötstelle wird durch das Bohrloch ins Pulpenkavum geführt, die andere, um absolute Werte erhalten zu können, in schmelzendes Eis (0°C) in einem Dewargefäß. Abbildung 5 zeigt die Schaltung des Thermoelementes in einer schematischen Darstellung. Durch die Kompensationschaltung der Meßbrücke kann die Temperaturdifferenz in stromlosem

Zustand gemessen werden. Ein Thermostrom würde die Temperatur der warmen Lötstelle erniedrigen, wodurch eine zu kleine Temperaturdifferenz vorgetäuscht würde.

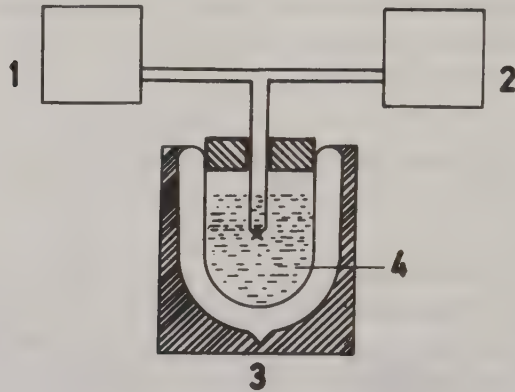


Abb. 5

Schematische Darstellung der Schaltung des Thermoelementes.

- | | |
|------------------------------|----------------|
| 1) Zahn | 3) Dewar-Gefäß |
| 2) Temperaturregistriergerät | 4) Eiswasser |

h) Schlifffläche bei Zähnen und Kunststoff

Es ist problematisch, systematische Untersuchungen an Zähnen als Versuchsobjekt durchzuführen, da die physikalischen Eigenschaften stark differieren und zudem von zu unterschiedlichen Faktoren beeinflusst werden. Es wird darauf hingewiesen, daß die Härte des Zahnes mit dem Lebensalter schwankt. Ältere Menschen haben härtere Zähne als jüngere. Der Feuchtigkeitsgehalt der Zähne ist ebenfalls Unterschieden unterworfen. Trockene Zähne sind härter als feuchte (WALLAU (42)).

Um die Unterschiede der physikalischen Eigenschaften weitgehend auszuschließen, wurden getrocknete Zähne, die über längere Zeit gesammelt wurden, verwandt. Die Höcker wurden plangeschliffen. Auf diese Weise konnte die Zahnoberfläche in drei Sektoren aufgeteilt werden, so daß drei verschiedene Schleifer an drei verschiedenen Stellen der Zahnoberfläche angreifen konnten. Diese Aufteilung schien zunächst einmal geeignet, statistisch gesicherte Ergebnisse zu reproduzieren¹⁾. Die später zu schildernde praktische Durchführung ließ jedoch erkennen, daß auch durch diese Einteilung eine statistische Signifikanz nicht immer zu erzielen war. Es wurde ein und derselbe Zahn für drei Versuche verwandt. Die Aufteilung der Zahnoberfläche in Sektoren ließ ein intermittierendes Schleifen nicht zu, weshalb während eines jeden Versuches nur an einer Stelle geschliffen werden konnte. Um Fehlerquellen durch die Inhomogenität des Zahnmaterials noch weiter auszuschalten, wurde an den drei Sektoren der Zahnoberfläche mit verschiedenen Andrücken und Umdrehungsgeschwindigkeiten gearbeitet. Um die gleichen Bedingungen bei den Kunststoffklötzchen zu erhalten, wurde auch hier jeweils an einer Stelle geschliffen, die eine planpolierte Oberfläche hatte.

1) Persönliche Mitteilung Dr. Faßl, Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation, Mainz.

i) Feststellung der Schleifleistung

Die Zähne und die Kunststoffklötzchen wurden vor und nach dem Schleifvorgang gewogen, aus der Differenz ergab sich die abgeriebene Substanz. Als Waage wurde für die Versuche an Zähnen eine Selekt-Rapid-Waage (Abbildung 6)¹⁾ verwandt. Diese Präzisionswaage arbeitet nach Angaben der Herstellerfirma mit einer Meßgenauigkeit bis zu 1/10 mg. Während der Vorversuche ergab sich eine Genauigkeit nur im Bereich bis zu 1/1 000 g. Die Wägungen der Kunststoffklötzchen wurde dann an einer Analysenwaage "Colora" (Abbildung 7)²⁾ vorgenommen. Bei dieser Waage ist die mechanische Wägung mit der optischen verbunden. Sie war im Bereich von 1/10 mg genau.

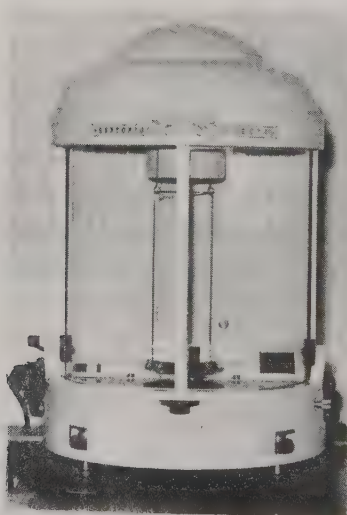


Abb.6



Abb.7

1) Hersteller: Sartoriuswerke Göttingen.

2) Hersteller: Firma Mettler, Lorch/Württ.

2. Versuchsanordnung

Es stand die in Abbildung 8 gezeigte Versuchsanordnung zur Verfügung, die FUHR (11) und WALSER (43) in abgeänderter Form verwandt hatten. Die Winkelstücke wurden in einem schwenkbaren Hebelarm festgeschraubt. Etwa 1 cm hinter dem Bohrerfutter war mit schnellhärtendem Kunststoff ein kleiner Haken fixiert, an dem ein dünner Draht befestigt wurde. Dieser Draht lief über eine Rolle und hatte die Gewichte für die Andrücke zu tragen. Der Zuleitungsschlauch zum Mikromotor wurde mittels einer Schnur an der Decke aufgehängt, um ein zusätzliches Drehmoment weitgehend auszuschalten. Das Thermoelement reichte durch das Bohrloch am Zahn bis zur Mitte des Pulpendaches (Abbildung 1b). Verschiedene Unterlagen außerhalb des Zahnes fixierten das Thermoelement in dieser Lage. Bei den Versuchen an Zähnen wurden wegen der Kleinheit des Objektes nur 3 mm des Funktionsendes an den Zahn gedrückt, die mit einem Zehntelmaß exakt bestimmt werden konnten. An den Kunststoffklötzchen dagegen wurde mit dem gesamten Funktionsende gearbeitet. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Versuchsanordnung.

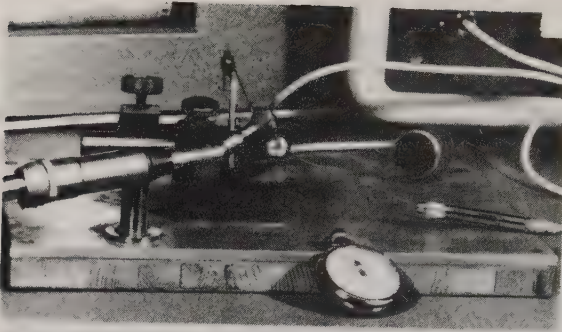


Abb. 8

- 1) Schwenkbarer Hebelarm. 2) Haken. 3) Rolle.
4) Gewicht. 5) Zahn. 6) Thermoelement.



Abb. 9

Versuchsanordnung

Beim Messen der Umdrehungsgeschwindigkeiten des Magnetstiftes wurde der Schieber des Vorwahlsystems so verschoben, daß Anfang und Ende der jeweiligen Drehzahlangabe der Skala eingestellt war. Die Meßergebnisse geben dabei die Mittelwerte mehrerer Messungen wieder und werden auf den graphischen Darstellungen 1 - 3 (S. 44, 45, 46) gezeigt. Bei den aufgezeichneten Skalaangaben der graphischen Darstellung 1 stellt der untere Wert den Anfang und der obere das Ende der angegebenen Skaladrehzahlen dar. Die graphische Darstellung 1 zeigt die Ergebnisse der Drehzahlmessungen im Leerlauf, die Darstellungen 2 und 3 die Ergebnisse der Drehzahlmessungen mit verschiedenen Andrücken. Es wurden Andrücke in Stufen von 20 g gewählt, die von 20 - 120 g reichten. Im blauen Drehzahlbereich wurde ein An- druck von 200 g angeschlossen, um zu prüfen, ob die Ergebnisse im Bereich der übrigen Werte liegen. Im grünen Drehzahlbereich, der nach der Vorwahlskala von 600 - 6 000 U/min reicht, traten bei den Dreh- zahlmessungen große Schwankungen auf, für die keine Erklärung ge- funden werden konnte. Bei den Messungen im Leerlauf konnte der ge- ringste und der größte Zeigerausschlag des Drehzahlmessers aufge- zeichnet werden. Bei den Messungen mit An- druck entstand ein völlig unklares Bild. Während bei 600 U/min kein Zeigerausschlag eintrat, lag er bei den folgenden Messungen immer über der Skalaangabe. Der Zeiger hatte zu keiner Zeit einen konstanten Ausschlag erreicht. Bei der Skalaangabe 6 000 U/min traten häufig Ausschläge bis 20 000 U/min auf. In den anderen Drehzahlbereichen traten große Schwankungen nicht mehr auf, lediglich bei der Skalaangabe 4 000 U/min im blauen Bereich pendelte der Zeiger des Drehzahlmessers von 0 - 23 000 U/min. Die auf der Skala angegebenen Höchstgeschwindigkeiten wurden weder im Leerlauf noch bei An- druck erreicht. Die Höchstgeschwindigkeiten von 40 000 U/min im blauen und 120 000 U/min im roten Drehzahlbe- reich wurden nicht erreicht. Sie lagen bei 34 000 und 110 000 U/min. Die weiteren Angaben der Skala wurden erreicht, z.T. überschritten. Die verschiedenen Andrücke verursachen im blauen und roten Drehzahl-

bereich nur geringfügige Schwankungen der Drehzahlen.

EICHNER (7) stellte bei luftgetriebenen Turbinen einen Abfall der Drehzahlen, allein bedingt durch den Luftwiderstand der Schleifsteine fest. Die Abbremsung der Drehzahlen betrug durchschnittlich 20 %, maximal 50 %. GRIGULL (16) registrierte bei einer konventionellen Bohrmaschine und bei einer luftgetriebenen Turbine (Airotor) eine Abbremsung bei belastetem Schleifer.

Diese Feststellungen gelten nicht für den Mikromotor. Hier zeigt sich teilweise ein geringer Anstieg der Drehzahlen bei belastetem Schleifer gegenüber dem unbelasteten. Bei der Miniatur-Dental-Turbine und den üblichen Bohrmaschinen mit Doriotgestänge wird bei belastetem Schleifer das Drehmoment kleiner, die Drehzahlen fallen ab. Beim Mikromotor wird das Drehmoment elektronisch gesteuert. Der Abfall der Drehzahlen bei verschiedenen Belastungen des Schleifers wird kompensiert, wodurch konstante Drehzahlen gewährleistet werden. Da bei belastetem Schleifer höhere Drehzahlen auftraten als bei unbelastetem, ist eine elektronische Überkompensation der Drehzahlen vorstellbar.

Im Zusammenhang mit den Drehzahlen des Mikromotors scheint die Erwähnung der Einteilung der verschiedenen Drehzahlbereiche nach EICHNER (6, 8) und FUHR (10, 11) erwähnenswert.

Nach EICHNER:

normaltourig:	0 - 12 000 U/min
hochtourig (high speed):	12 000 - 40 000 U/min
höchsttourig (super high speed):	40 000 - 150 000 U/min 150 000 - 400 000 U/min

Nach FUHR:

normaltourig:	500 - 9 000 U/min
schnelltourig:	10 000 - 19 000 U/min
hochtourig (medium high speed):	20 000 - 60 000 U/min
höchsttourig (ultra high speed):	60 000 - 300 000 U/min

Ein Vergleich dieser Einteilungen mit den Drehzahlbereichen zeigt, daß der Drehzahlbereich des Mikromotors von normalen bis zu den höchsten Drehzahlen reicht.

b) Temperaturmessung am Mikromotor

Der laufende Mikromotor wird durch Preßluft gekühlt. Dennoch konnten beim praktischen Einsatz Temperaturanstiege festgestellt werden. Mit einem Thermoelement wurde die Temperatur an der Außenwand des Mikromotors abgegriffen. Der Andruck auf das im blauen Drehzahlbereich arbeitende Winkelstück betrug 200 g. Der Vorwahlschieber wurde auf die Anfangsstelle von 40 000 U/min (A 40 000) gebracht.

Zu Beginn des Versuches hatte der Mikromotor die Raumtemperatur von $20,8^{\circ}\text{C}$.

Nach 5 Minuten Schleifdauer wurde eine Temperaturzunahme von $11,6^{\circ}\text{C}$ registriert. Das entspricht einer absoluten Temperatur von $32,4^{\circ}\text{C}$.

Nach 10 Minuten erfolgte ein weiterer Temperaturanstieg von $9,6^{\circ}\text{C}$. Die absolute Temperatur stieg somit auf $42,0^{\circ}\text{C}$ an.

Nach 15 Minuten ununterbrochenen Schleifens schwankte die Temperatur um $42,0^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Während dieses Versuches hing der Mikromotor frei in der Luft. Es kann angenommen werden, daß die Kühlung weniger wirksam ist, wenn der Mikromotor bei der Arbeit in der Hand liegt.

c) Die Schleifleistung in verschiedenen Drehzahlbereichen

In den graphischen Darstellungen 4, 5 und 6 (S. 47 - 49) werden die Ergebnisse an Zähnen gezeigt. Auf die Ordinaten wurde die durch den einzelnen Versuch geleistete Schleifleistung in Milligramm aufgetragen. Die Abszissen zeigen die zur Anwendung gekommenen Umdrehungszahlen. Da die oberen Werte der einzelnen Drehzahlbereiche nach eigenen Untersuchungen hinreichend konstant waren, wurden aus jedem der drei Drehzahlbereiche drei der oberen Werte abgegriffen. Für den grünen Bereich wurde der Vorwahlschieber so eingestellt, daß der Zeiger auf der Skala am Anfang von 4 000 U/min stand. Bei der zweiten Messung stand der Zeiger am Ende von 4 000 U/min. Die dritte Messung wurde auf Anfang von 6 000 U/min eingestellt. Zur Vereinfachung wurden folgende Abkürzungen verwandt: A 4 000, E 4 000 und A 6 000. Vom blauen Bereich wurden die Skalawerte A 30 000, E 30 000 und A 40 000 eingesetzt. Vom roten Bereich konnten nur A 80 000 und E 80 000 zur Anwendung kommen, da A 120 000 bei Vorversuchen ergab, daß in wenigen Sekunden 5 mm Zahnschubstanz durchtrennt sind und dabei das Thermoelement zerstört wird.

Schon in Vorversuchen stellte sich heraus, daß bei den Versuchen die Schleifdauer pro Versuch auf 30 sec heraufgesetzt werden mußte und die Andrückkraft auf über 150 g, um eine feststellbare Abriebmenge zu erhalten. Trotzdem war es bei einigen Versuchen nicht möglich, eine wägbare Abriebmenge zu erhalten. Eindeutige Abriebmengen werden im roten Bereich, d.h. zwischen 12 000 und 120 000 U/min, erreicht. Hier war bei höherer Umdrehungsgeschwindigkeit die Leistung so groß, daß der Schleifer durch den Schmelzmantel hindurch noch weit in den Dentinkern eingedrungen war. Nur durch die unterschiedlichen Ausdehnungen der Pulpen ist es zu erklären, daß als Ergebnis bei Andrücken von 180 und 200 g die Schleifleistung absinken konnte. Es zeigte sich nämlich, daß sich die Schleiferspitzen mehrmals frei in der Pulpa drehen. Die Ergebnisse bei 120 000 U/min lagen so hoch, daß der ganze Zahn-

stumpf durchschliffen wurde. Es läßt sich also für die höchsten erreichbaren Drehzahlen beim Mikromotor eine wesentliche Leistungszunahme gegenüber den niedrigen Drehzahlbereichen feststellen. Bei Versuchen im niedrigen (grünen) und mittleren (blauen) Drehzahlbereich kann die Aussage, daß höhere Drehzahlen höheren Abrieb bedingen nicht ohne weiteres bestehen bleiben. Es lassen sich hohe Anfangswerte feststellen bei der für jeden Bereich niedrigsten Umdrehungsgeschwindigkeit. Diese sinken dann aber steil ab bis zu Werten, die mit der Waage nicht mehr zu erfassen waren. Nur zweimal ist bei A 40 000 U/min unter Andrücken von 160 und 200 g ein erneutes Ansteigen der Abriebmenge gegenüber E 30 000 U/min festzustellen. Die Ausgangswerte von A 30 000 U/min werden dabei aber nicht mehr erreicht.

Die graphischen Darstellungen 7, 8 und 9 (S. 50 - 52) zeigen die Ergebnisse an Kunststoff. Die Versuche an Kunststoff wurden unternommen, um die Ungenauigkeiten, die durch das inhomogene Zahnmaterial gegeben sind, auszuschalten. Dabei wurden nur im blauen Drehzahlbereich Schleifversuche durchgeführt, da gegenüber dem grünen Bereich höhere Abriebmengen zu erwarten waren.

Die graphische Darstellung 7 (S. 50) zeigt die Versuchsergebnisse, die sich bei einer Schleifdauer von 30 sec ergaben, entsprechend den Versuchen an Zähnen. Die Ergebnisse lassen trotz des Ausfalls bei E 30 000 U/min und einem Andruck von 200 g erkennen, daß höhere Drehzahlen eine höhere Schleifleistung bedingen.

Die folgende graphische Darstellung 8 (S. 51) zeigt dieselben Versuche, die diesmal mit der doppelten Schleifdauer (60 sec) durchgeführt wurden. Es zeigt sich auch hier, daß höhere Drehzahlen eine höhere Schleifleistung bedingen. Es war kein Ausfall zu verzeichnen. Lediglich bei der Drehzahl E 30 000 U/min sank der Wert bei 200 g Andruck um 1 mg unter den, der bei 180 g Andruck erreicht wurde.

Die Werte in der graphischen Darstellung 9 (S. 52) stellen jeweils die Mittelwerte aus je drei Einzelversuchen dar. Die drei Einzelversuche

wurden mit einem Schleifer, der dreimal hintereinander unter denselben Bedingungen zum Einsatz kam, unternommen. Auf diese Weise konnte hier der Abnutzungsgrad der Schleifer weitgehend ausgeschlossen werden. Zwar sank die Schleifleistung bei E 30 000 U/min und 200 g Andruck wieder ab, wofür keine Erklärung gegeben werden kann, doch liegen dabei alle Werte mit höherem Andruck immer über denen mit geringerem.

Die graphischen Darstellungen machen deutlich, daß bis auf wenige Werte bei den Schleifversuchen eine Zunahme der Drehzahl die Schleifleistung ansteigen läßt. Den ersten Hinweis zur Klärung dieser Tatsachen durch einen deutlicheren Kurvenverlauf lieferte das folgende Versuchsprotokoll: (Die Abriebmengen sind in mg angegeben).

Andruck	160 g			180 g		
U/min	A 30 000	E 30 000	A 40 000	A 30 000	E 30 000	A 40 000
1. Versuch	12	30	31	41	39	46
2. Versuch	10 -	26 -	37 +	36 -	34 -	40 -
3. Versuch	10 -	27 -	30 -	35 -	28 -	51 +
Mittelwert	10,6	27,6	32,6	37,5	33,6	45,6

Andruck	200 g		
U/min	A 30 000	E 30 000	A 40 000
1. Versuch	100	45	90
2. Versuch	81 -	50 +	63 -
3. Versuch	68 -	43 -	59 -
Mittelwert	83,0	46,0	70,6

Die + und - Zeichen im Protokoll zeigen an, daß der Wert des jeweils 2. und 3. Versuches über (+) oder unter (-) dem Wert des 1. Versuches liegt. Es läßt sich zeigen, daß bis auf drei Werte alle übrigen unter den Ausgangswerten liegen. Dies bestätigte, daß der Wirkungsgrad der Diamantinstrumente schon während der Versuche großen Änderungen unterworfen ist.

Für diese Feststellung sprechen die Ergebnisse von SÄNGER (32) und THIEL (41). ADLER (zitiert nach GÄRTNER (15)) stellte bei längerer Schleifdauer ein prozentuales Absinken der Schleifleistung fest.

Dagegen kann WALSER (43) keinen nennenswerten Leistungsabfall bei Diamanten feststellen. JUPITZ (zitiert nach SÄNGER (32)) registriert ebenfalls keinen Leistungsabfall: Die Leistung eines bereits eine Stunde gebrauchten Diamantschleifers ist weit höher als die eines neuen.

WUPPER (47) schreibt über die Leistungsabnahme von diamantierten Instrumenten: "Die Diamantkristalle sind mit einer Fräse vergleichbar, in einer gewissen Ordnung so in den Metallkörper eingelassen, daß sie recht- oder stumpfwinkelige Schneiden bilden. Und ähnlich wie bei der Fräse hacken die Diamantschneiden die Zahnschubstanz kurzspanig heraus, bis sie - auch hierin verhalten sie sich wie eine Fräse - durch Abnutzung, Abstumpfung oder Herausbrechen ihre Schneidfähigkeit einbüßen".

THIEL (41) machte bei seinen Versuchen eine "sehr interessante Nebenfeststellung": Ein Diamantschleifkörper, der zwei Tage nicht benutzt worden war, zeigte eine größere Schleifleistung als vor seinem "Ausruhen". Er erklärte dieses Phänomen durch eine elastische Deformierung des Basismaterials, die "durch den Druck und die Wärme beim längeren Schleifen" zustande kommt. Durch das "Ausruhen" können die Diamantkristalle, die vorher etwas versenkt waren, wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren, wodurch die Schleifleistung über ihren zuletzt festgestellten Wert ansteigt.

Exakte Versuche hierzu unternahm HOFMANN (21). Sieben Tage lang führte er mit jedem Schleifer täglich fünf Versuche durch, mit einer Arbeitszeit von 150 sec/die. Nach einem hohen Anfangswert sinkt die

Leistung am 1. Tag rasch ab, ohne daß ein stetiger Kurvenabfall vom 1. - 5. Versuch festgestellt werden konnte. Der Kurvenverlauf ist an den folgenden Tagen ungefähr gleich, wobei der 1. Wert der einzelnen Tage den letzten Wert des Vortages weit übertrifft. HOFMANN (21) stellt weiter fest, daß eine große und unregelmäßige Streuung auffallend ist, wobei es sogar Schleifer gibt, bei denen die Werte ansteigen statt abfallen. "Es kann also jeder Schleifer zu jeder Zeit sozusagen aus der Rolle fallen und vollkommen unzusammenhängende Ergebnisse zeigen". Aufgrund dieser Beobachtungen wurden Versuche unternommen, um nähere Auskunft über die zur Anwendung gekommenen Diamantschleifer zu bekommen.

Die graphischen Darstellungen 10 und 10a (S. 53, 54) zeigen die erste Versuchsreihe, bei der mit einem Schleifer kurz hintereinander jeweils 60 sec lang bei einem Andruck von 180 g und der Drehzahl von E 30 000 U/min auf 5 Kunststoffklötzchen geschliffen wurde. Die Darstellungen geben ein deutliches Absinken der Schleifleistung zwischen dem 1. und 5. Schleifvorgang wieder. Während die Schleifleistung beim 1. Schleifvorgang 46 mg betrug, erreichte der 5. Schleifvorgang nur noch 27 mg. Diese Versuche zeigen deutlich, daß die Leistung des Schleifers bei längerer Benutzung deutlich absinkt.

Bei der zweiten Versuchsreihe wurden fünf Schleifer einmal je 60 sec bei einem Andruck von 160 g und der Drehzahl von E 30 000 U/min benutzt. Die graphische Darstellung 11 (S. 55) zeigt die Ergebnisse dieser Versuche. Es kann ein auffallender Unterschied in der Schleifleistung zwischen gleichen Schleifern festgestellt werden, die unter denselben Bedingungen benutzt wurden.

Bei der dritten Versuchsreihe wurde über drei Tage ein und derselbe Schleifer benutzt. Die tägliche Arbeitszeit betrug 5 mal 60 sec bei 160 g Andruck und der Drehzahl E 30 000 U/min. Die graphischen Dar-

stellungen 12 und 12a (S. 56, 57) zeigen die Ergebnisse dieser Versuche: Die Schleifleistung liegt am 3. Tage über der der Vortage, wobei der Verlauf der Kurven andeutet, daß am 3. Tage ein steilerer Abfall zu verzeichnen ist und die Leistung bei längerer Schleifdauer sicher unter die Werte der Vortage gesunken wäre.

Wie die graphischen Darstellungen 10 - 12a (S. 53 - 57) der drei ergänzenden Versuche zeigen, ist es praktisch unmöglich, mit zahnärztlichen Diamantschleifern exakte, vergleichbare Werte bei Schleifvorgängen zu erhalten. Es zeigt sich, daß nicht nur ein homogenes Schleifmaterial gefordert werden muß, sondern auch immer gleich wirksame Schleifinstrumente, was jedoch in der Praxis auf Schwierigkeiten stoßen dürfte.

Für das Absinken der Schleifleistung bei einem längeren Schleifversuch kann eine weitere Ursache verantwortlich gemacht werden. Zwischen den Schneidekanten der Diamantkörner verbleibt ein Raum, der dem Abtransport des beim Schleifprozeß entstehenden Schleifstaubes zugute kommt. Auf diesen Umstand weist auch SÄNGER (32) hin. Wird der verbleibende Raum durch Schleifstaub ausgefüllt (verschmiert), und dies ist beim Trockenschliff leichter der Fall als beim Naßschliff, so muß die Leistung sinken.

Das Absinken der Schleifleistung kann aber nicht nur mit dem Verschmieren der Zwischenräume von Diamantkorn zu Diamantkorn oder der elastischen Deformierung des Bindemittels erklärt werden.

CLAESSENS (42) weist darauf hin, daß Diamantkörner von flacher Form, "Flats" genannt, oder dünne und lange, sogenannte "Needles" (Nadeln), die Leistung vermindern, da sie entweder viel unnützen Raum einnehmen oder sofort ausbrechen.

Nach PEKLENIK (zitiert nach SCHWARTZ (35)) lassen sich vier Möglichkeiten des Kornverschleißes aufzeigen:

1. Druckerweichung.
2. Absplitterung von Kristallgruppen aus dem Diamantkorn.
3. Teilweiser Kornausbruch.

4. Vollkommener Kornausbruch

Eine Druckerweichung des Korns kann dann erfolgen, wenn durch Andruck und Schnittgeschwindigkeit (abhängig von der Drehzahl des Antriebmotors und dem Umfang des Schleifers) beim Aufeinandertreffen mit dem Werkstoff die örtlichen Drücke an den Kornspitzen und -flächen so groß werden, daß sie die Leistungsfähigkeit des Schleifmaterials übersteigen. Es erweichen dünnste Schichten und verfallen der Abtragung. Diese Form des Kornverschleißes dürfte keine allzu große Rolle spielen. Genauso wird es mit dem Absplittern sein, das doch in der Hauptsache nur am Gefüge der diamantierten Schleifer liegen dürfte. Mangelhafte viele lange Industriediamanten enthalten scharfkantige Schneidespitzen. Der teilweise Kornausbruch dürfte häufiger sein. Längerdauernde Beanspruchung lockert das Kristallgefüge auf und besonders kleinste Unregelmäßigkeiten und Gitterfehler in der Kristallstruktur werden zum Ausgangspunkt eines Sprungsystems. Eine weitere große Beanspruchung reißt den lockeren Teil mit weg. Dadurch können aber neue Schneidrän der entstanden sein und die Leistung des Schleifers kann wieder ansteigen (MÜLLER (26)). Daß Körner vollkommen ausbrechen können, zeigen blanke Stellen am Bindemittel. Verursacht kann dieser Ausfall dadurch sein, daß das Korn zu wenig oder ohne sogenannte unter-sich-gehende Stellen im Bindemittel verankert ist. Auch das Bindemittel kann Ermüdungserscheinungen zeigen. Die Verankerung wird lockerer und das Korn kann im Ganzen herausgeschlagen werden.

Zusammenfassend kann zu den Versuchen an Zähnen und Kunststoff unter Berücksichtigung der Drehzahlen gesagt werden, daß die Schleifausbeute stark vom diamantierten Schleifinstrument abhängig ist.

Es wurde bei den Versuchen für einen bestimmten Andruck - bei verschiedenen Drehzahlen - ein Schleifer verwandt. Der Leistungsabfall der Schleifer bei der Bearbeitung von Zähnen ist dabei so einschneidend, daß im selben Drehzahlbereich der mehrmals benutzte Schleifer - trotz höherer Drehzahl - die Leistung des neuen

Schleifers bei niedrigerer Drehzahl nicht erreicht. Ein Beispiel möge dies erläutern: bei 180 g Andruck erzielte der neue Schleifer bei A 4 000 U/min in 30 sec eine Schleifleistung von 4 mg Abrieb. Bei E 4 000 nur noch 3 mg und bei A 6 000, als der Schleifer zum dritten Mal benutzt wurde, nur noch 1 mg Abrieb.

Auffallend ist, daß bei Bearbeitung von Kunststoff, Alberit, der etwa der Härte des Dentins entspricht, und beim Trockenschliff schneller ein Verschmieren des Schleifers erwartet wurde, trotzdem der mehrmals benutzte Schleifer bei gleichem Andruck, aber gesteigerter Drehzahl, eine höhere Schleifleistung erbrachte als der neue Schleifer in niedrigerer Drehzahl. (Ein Ausfall war zu verzeichnen.)

d) Die Schleifleistung unter verschiedenen Andrücken

Die Schleifleistung wurde unter dem Gesichtspunkt der verschiedenen Andrücke bei konstanter Drehzahl betrachtet. Die Schleifdauer bei den Versuchen an Zähnen betrug jeweils 30 sec. Die Ergebnisse der Versuche an Zähnen zeigen die graphischen Darstellungen 13 - 15 (S. 58-60). Bei den Darstellungen bedeutet die ausgezogene Linie, daß jeder Versuch mit einem einmal benutzten Schleifer unternommen wurde. Die gepunktete Linie bedeutet einen zweimal benutzten Schleifer und die gestrichelte einen dreimal benutzten. Es kamen alle drei Drehzahlbereiche zur Anwendung. Die Versuchsergebnisse an Kunststoff als Prüfkörper werden auf den graphischen Darstellungen 16 - 18 (S. 61-63) gezeigt. Die Versuche wurden im blauen Drehzahlbereich unternommen bei einer Schleifdauer von 30 bzw. 60 sec.

Ein Vergleich zwischen den Versuchen an Zähnen - siehe hierzu die graphischen Darstellungen 13 - 15 (S. 58-60) - und Kunststoff - graphische Darstellungen 16 - 18 (S. 61-63) - zeigt deutlich, daß Zähne als Versuchskörper von Fehlerquellen behaftet sind. Im grünen Drehzahlbereich lassen die Versuche an Zähnen (graphische Darstellung 13 (S. 58)) nicht erkennen, daß die Schleifleistung bei höherem Andruck ansteigt. Die Ursache hierfür kann nicht nur bei den Zähnen gesucht werden, sondern liegt auch an den Schwankungen der Drehzahlen, die in diesem Drehzahlbereich so groß waren, daß kein exakter Wert festgestellt werden konnte. Im blauen (graphische Darstellung 14 (S. 59)) und besonders im roten Bereich (graphische Darstellung 15 (S. 60)) waren die Drehzahlen annähernd konstant. Dies zeigen die Ergebnisse über die Schleifleistung.

Was sich an den Zähnen schwer zeigen läßt, bringen die Versuche an Kunststoffprüfkörpern deutlich zum Ausdruck. Hier wurde infolge der Drehzahlschwankungen auf den grünen Drehzahlbereich verzichtet und nur im blauen Drehzahlbereich gearbeitet. Wie die graphische Darstellung 2 (S. 45) zeigt, sind die Drehzahlwerte für A 30 000,

E 30 000 und A 40 000 U/min nahezu konstant, so daß drehzahlbedingte Ungenauigkeiten nicht zu befürchten waren. Auch Versuche im roten Drehzahlbereich führten zu keinen anderen Ergebnissen, da auch hier eine Drehzahlenkonstanz nachgewiesen werden konnte, lediglich die Schleifleistung hätte einen höheren Wert erreicht. Bei der ersten Versuchsreihe, die in der graphischen Darstellung 16 (S. 61) aufgezeigt ist, wurde für die Kunststoffprüfkörper entsprechend den Versuchen an Zähnen eine Schleifdauer von 30 sec gewählt. Dabei war ein Ausfall zu verzeichnen. Bei der Drehzahl E 30 000 U/min sank beim höchsten Andruck von 200 g die Schleifleistung unter den Wert, der bei 180 g Andruck erreicht worden war. Dieselbe Versuchsreihe wurde anschließend mit der doppelten Zeitdauer (also 60 sec) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigt die graphische Darstellung 17 (S. 62). Bei diesen Versuchen trat kein Ausfall auf. Nur bei der Drehzahl E 30 000 U/min und 200 g Andruck lag die Schleifleistung unter dem Wert, der bei 180 g Andruck erreicht wurde. Obwohl die Steigerung der Drehzahlen nur geringfügig ist, zeigt die graphische Darstellung 17 (S. 62) deutlich, daß nicht nur hoher Andruck sondern auch höhere Drehzahl eine Erhöhung der Schleifleistung bedingt. Zur Festigung der Ergebnisse wurde eine dritte Versuchsreihe durchgeführt, deren Ergebnisse in der graphischen Darstellung 18 (S. 63) gezeigt werden. Bei diesen Versuchen wurde wieder jeweils 60 sec an Kunststoff geschliffen. In der graphischen Darstellung 18 (S. 63) bedeutet jede Angabe den Mittelwert aus drei Einzelversuchen. Die drei Einzelversuche wurden mit einem Schleifer, der dreimal hintereinander zum Einsatz kam, unternommen. Während bei den vorhergegangenen Versuchen nicht auszuschließen ist, daß auch die Abnutzung der Schleifer die Ergebnisse verfälschte, kann dieser Umstand nun sicher ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß gesteigerter Andruck die Schleifleistung ansteigen läßt.

e) Temperaturmessung an Zähnen

Für die Temperaturmessungen wurde die eine Lötstelle des Thermoelementes über das Bohrloch in das Pulpenkavum geführt. Es lag mit seiner Spitze am Pulpdach in 5 mm Entfernung von der Schlifffläche und wurde in dieser Stellung fixiert. Die andere Lötstelle steckte in schmelzendem Eis.

Um die absolute Temperaturzunahme beim Schleifvorgang ermitteln zu können, mußte gewartet werden, bis die Schreibspitze der Meßbrücke die genaue Temperatur im Zahninnern anzeigte. Obwohl die Restpulpa und das Bohrloch unausgefüllt blieben, dauerte es über 10 Minuten, bis sich eine konstante Temperatur eingestellt hatte. Dieses Einstellen der genauen Temperatur an der Lötstelle wurde schon durch Luftzug verzögert, was auf die außerordentliche Registrierempfindlichkeit der Meßbrücke hinweist.

Die Temperaturmessungen an den Zähnen liefen parallel zu den Drehzahl- und Andruckversuchen. Es wurde somit die entsprechende Temperatur bei konstantem Andruck und verschiedenen Drehzahlen und bei konstanten Drehzahlen aber verschiedenen Andrücken registriert.

Schon nach wenigen Sekunden Schleifdauer konnte ein Ansteigen der Temperatur registriert werden. Der Höhepunkt der Temperatur wiederum wurde erst einige Sekunden nach Absetzen des Schleifers angezeigt (sogenannter Temperaturnachlauf). Es vergingen demnach einige Sekunden bis die Wärmemenge, die beim Schleifen entstand, durch die Zahnhartsubstanz die Thermolötstelle erreicht hatte.

Die graphischen Darstellungen 19 - 21 zeigen (S. 64-66) die entstandene Temperatur im Verhältnis zur Schleifleistung. Die Temperatur entstand jeweils bei einer Schleifdauer von 30 sec. Die Drehzahlen wurden verändert, die Andrucke konstant gehalten.

Die Temperaturmessungen in Zahlenangaben: (In Klammer sind die Temperaturmittelwerte angegeben, die aus den Ergebnissen bei konstantem Andruck gewonnen wurden.)

Grüner Drehzahlbereich

	A 4 000	E 4 000	A 6 000 U/min	
Andruck von 160 g:	0,7	1,3	1,3	(1,10)
" " 180 g:	0,5	1,4	0,6	(0,83)
" " 200 g:	0,4	1,3	1,5	(1,066)

Blauer Drehzahlbereich

	A 30 000	E 30 000	A 40 000 U/min	
Andruck von 160 g:	3,6	6,5	5,2	(5,1)
" " 180 g:	5,1	7,0	5,2	(5,766)
" " 200 g:	4,4	6,2	7,1	(5,90)

Roter Drehzahlbereich

	A 80 000	E 80 000 U/min	
Andruck von 160 g:	10,6	27,6	(19,1)
" " 180 g:	16,2	21,0	(18,6)
" " 200 g:	21,6	21,6	(21,6)

Die graphischen Darstellungen machen deutlich, daß es schwierig ist, absolute Werte zu finden, da die Schleifer derselben Herstellerfirma und derselben Form und Größe große Differenzen nicht nur in der Schleifleistung sondern auch in der Temperaturerzeugung aufweisen. Auf diese Tatsache weist auch SCHEER (33) in seiner Arbeit hin. Wenn die Fortpflanzung der erzeugten Wärmemenge einer Wellenbewegung entspricht (RICHTER und STÜBEN (27)), deren Zentrum mit der Schleiffläche zusammenfällt, dann müssen weitere Ungenauigkeiten bei Zähnen auftreten, da kein Zahn dem anderen in Form, Größe und Aufbau gleicht.

Die Schaubilder zeigen in 6 von 9 der Fälle ein Ansteigen der Temperatur am Pulpendach, wenn die Andrucke konstant gehalten, die Drehzahlen dagegen gesteigert werden. In 3 von 9 der Fälle entsteht ein uneinheitliches Bild. Hier trat bei der höchsten Drehzahl innerhalb der einzelnen Drehzahlbereiche eine Temperaturverminderung anstelle der zu erwartenden Temperaturzunahme auf. Auf die möglichen Fehlerquellen wurde hingewiesen (S. 32 - 35).

Werden die Drehzahlbereiche untereinander verglichen, so ergibt sich bei jeweils gleichen Andrücken eine deutliche Temperaturzunahme vom langsamen (grünen) über den mittleren (blauen) zum hohen (roten) Drehzahlbereich. Im grünen Drehzahlbereich kann im Durchschnitt eine Temperatursteigerung von $1,0^{\circ}\text{C}$, im blauen von $5,59^{\circ}\text{C}$ und im roten von $19,77^{\circ}\text{C}$ nachgewiesen werden. Das entspricht einer Temperatursteigerung vom grünen zum blauen Bereich um fast das 6-fache und vom blauen zum roten um mehr als das 3-fache. Den Temperaturangaben läßt sich weiter entnehmen, daß die Mittelwerte der Temperatur eines jeden Drehzahlbereiches bei einem Andruck von 200 g über denen der niedrigeren Andrucke liegen. Eine geringfügige Ausnahme tritt im grünen Drehzahlbereich auf durch einen sehr niederen Temperaturwert bei A 4 000 U/min und 200 g Andruck.

Die graphischen Darstellungen 22 - 24 (S. 67-69) zeigen die entstandene Temperatur im Verhältnis zur Schleifleistung. Die Temperatur entstand jeweils bei einer Schleifdauer von 30 sec. Die Andrucke wurden verändert, die Drehzahlen waren konstant.

Aus den auf Seite 40 aufgezeigten Temperaturwerten lassen sich die Mittelwerte der Temperaturen bei konstanter Drehzahl und variablem Andruck ermitteln:

grüner Drehzahlbereich				
	<u>A 4 000</u>	<u>E 4 000</u>	<u>A 6 000 U/min</u>	
Temperaturmittel- werte in °C	0,53	1,33	1,13	
	blauer		roter Drehzahlbereich	
	<u>A 30 000, E 30 000, A 40 000. A 80 000, E 80 000 U/min</u>			
Temperaturmittel- werte in °C	4,37	6,57	5,83	16,13 23,4

Die graphischen Darstellungen lassen keine sicheren Feststellungen darüber zu, daß erhöhter Druck bei konstanter Drehzahl höhere Temperatur bedingt.

V. Graphische Darstellungen der
experimentellen Untersuchungen

DREHZAHLMESSUNG IM LEBERLAUF

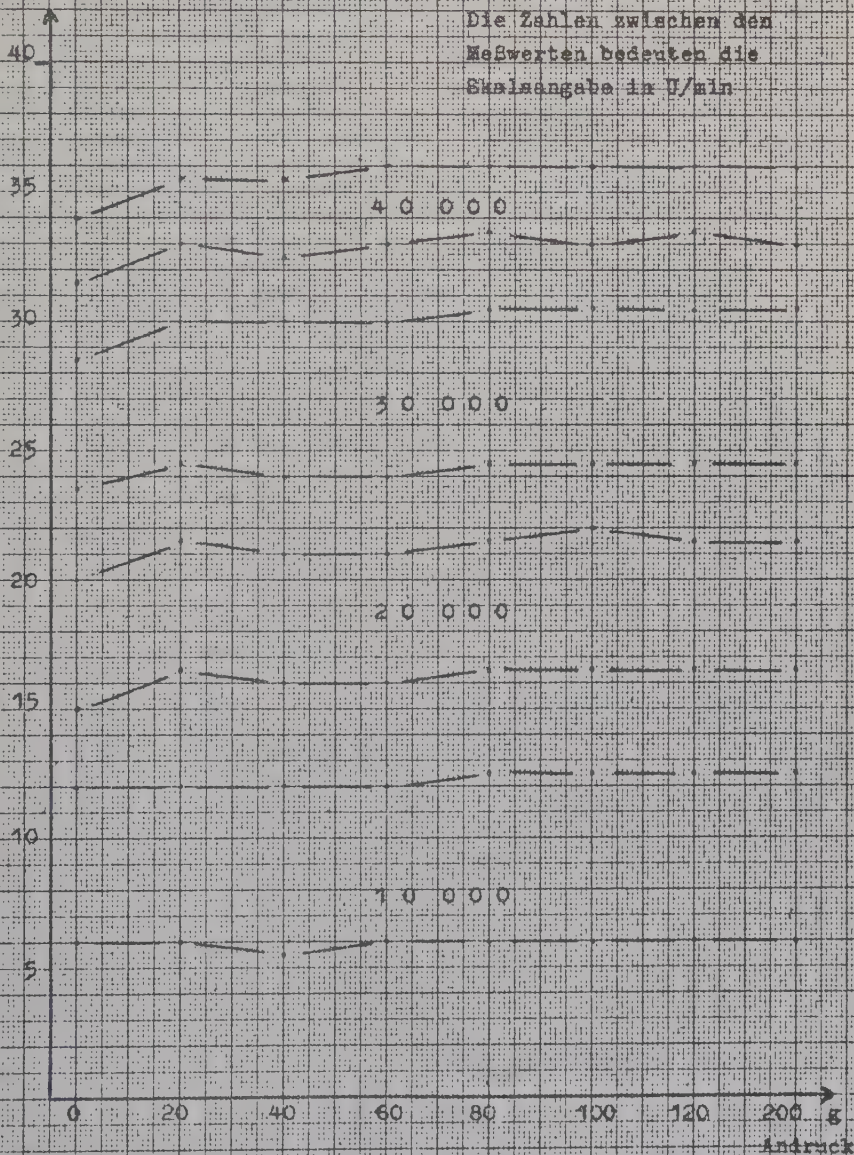
Skala- angabe U/min	Statistische Werte U/min	Skala- angabe U/min	statistische Werte U/min	Skala- angabe U/min	statistische Werte U/min
6 000	12 000 - 15 000	40 000	54 000	120 000	110 000
	8 000 - 11 000		51 500		100 000
	3 000 - 6 000	30 000	28 500	80 000	90 000
4 000	1 000 - 2 000	20 000	20 000		70 000
	1 000 - 2 000		15 000	40 000	45 000
2 000	keine Angabe möglich	10 000	12 000		30 000
			6 000		
600	keine Angabe möglich	4 000	2 000 - 8 000		9 000 - 10 000
			2 000 - 8 000	12 000	2 000 - 10 000
GRÜNER		BLAUER		ROTER	
		DREHZAHLMESSUNG			

DREHZAHNMESSUNGEN

MIT VERSCHIEDENEN ANDRÜCKEN

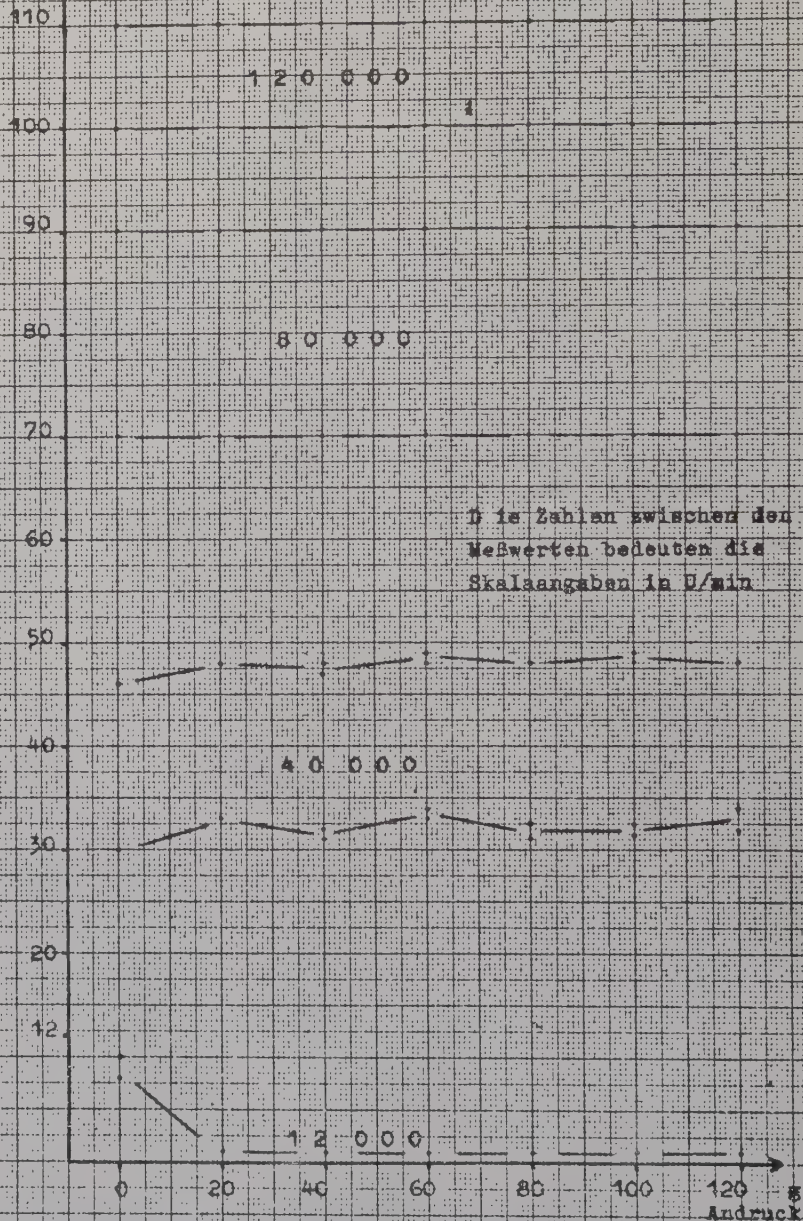
 $\times 1000 \text{ U/min}$

Die Zahlen zwischen den
Meßwerten bedeuten die
Skalengabe in U/min

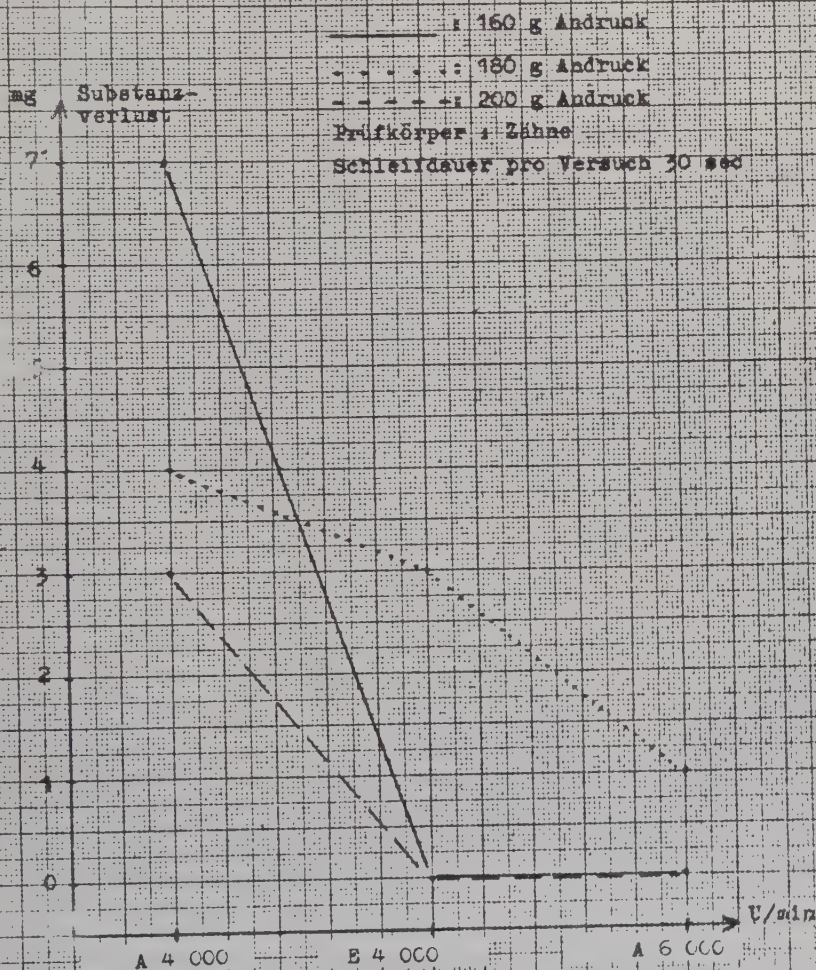


BLAUER DREHZAHLBEREICH

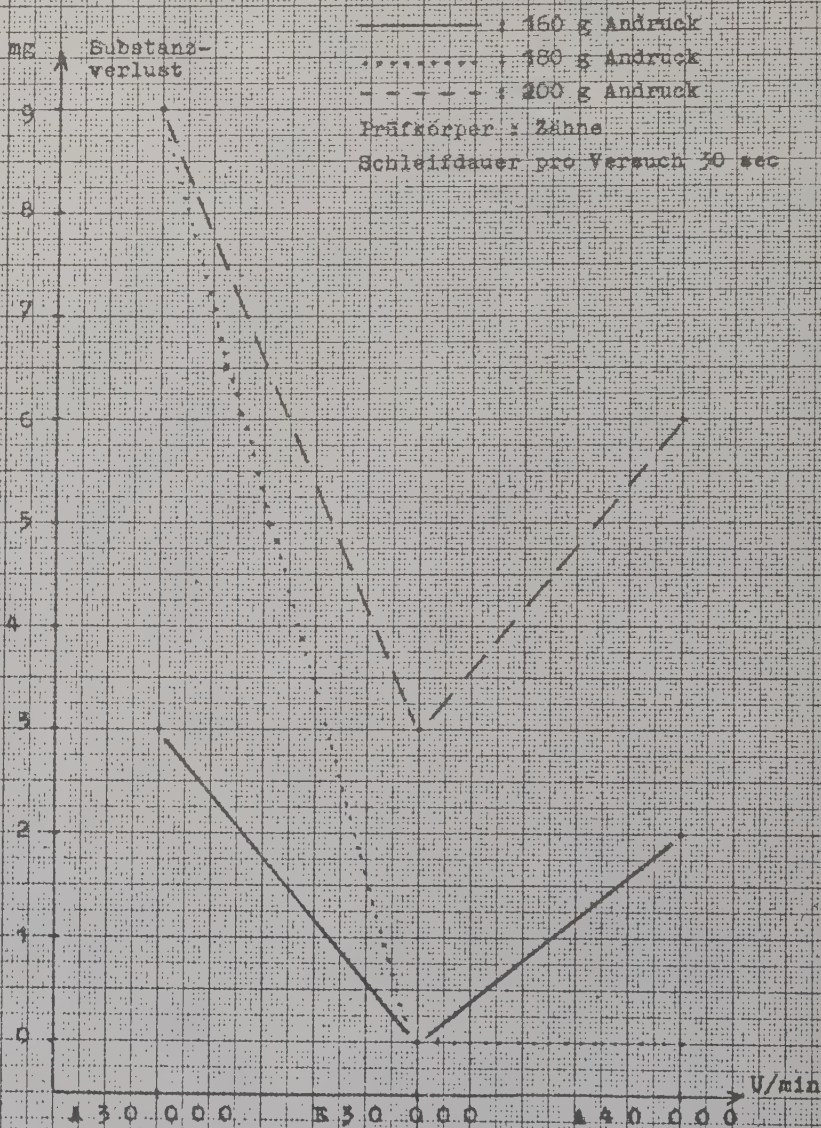
x 1000 U/min

DREHZAHLMESSUNGEN MIT
VERSCHIEDENEN ANDRÜCKEN

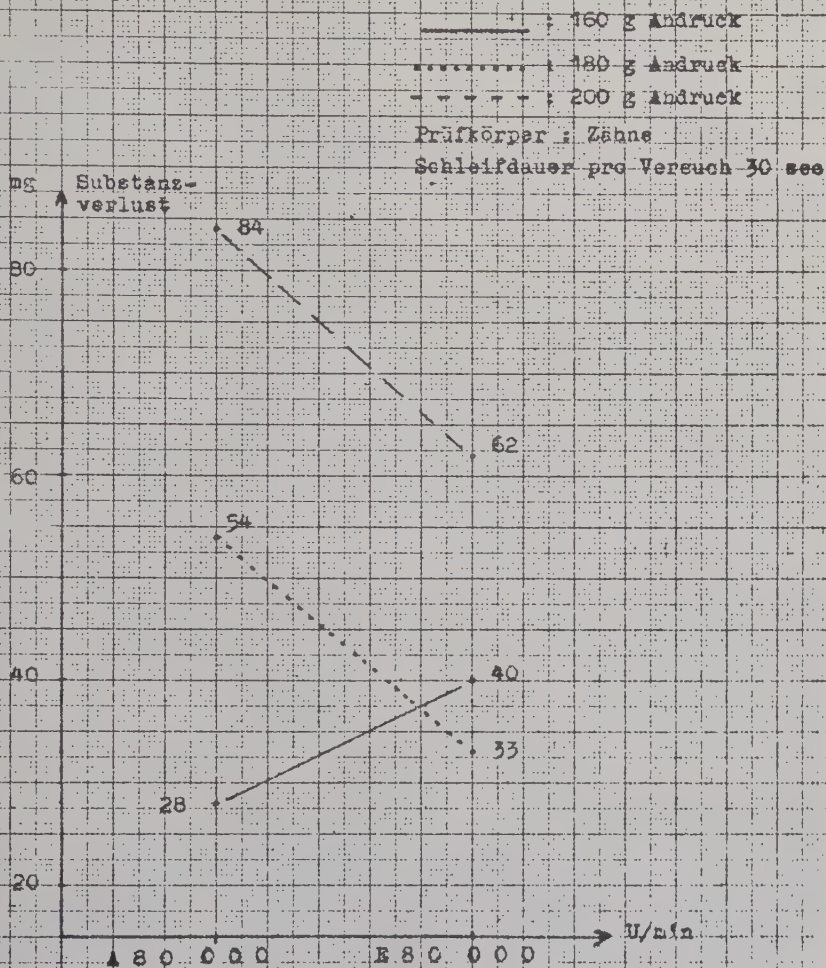
ROTER DREHZAHLEBEREICH



GRÜNER DREHZÄHLERZEICH



BLAUER DREHZAHLBEREICH



ROTTER DREHZAHLBEREICH

mg Substanz-
verlust

— : 160 g Andruck
 : 180 g Andruck
 - - - - : 200 g Andruck
 Prüfkörper : Kunststoff
 Schleifdauer pro Versuch 30 sec

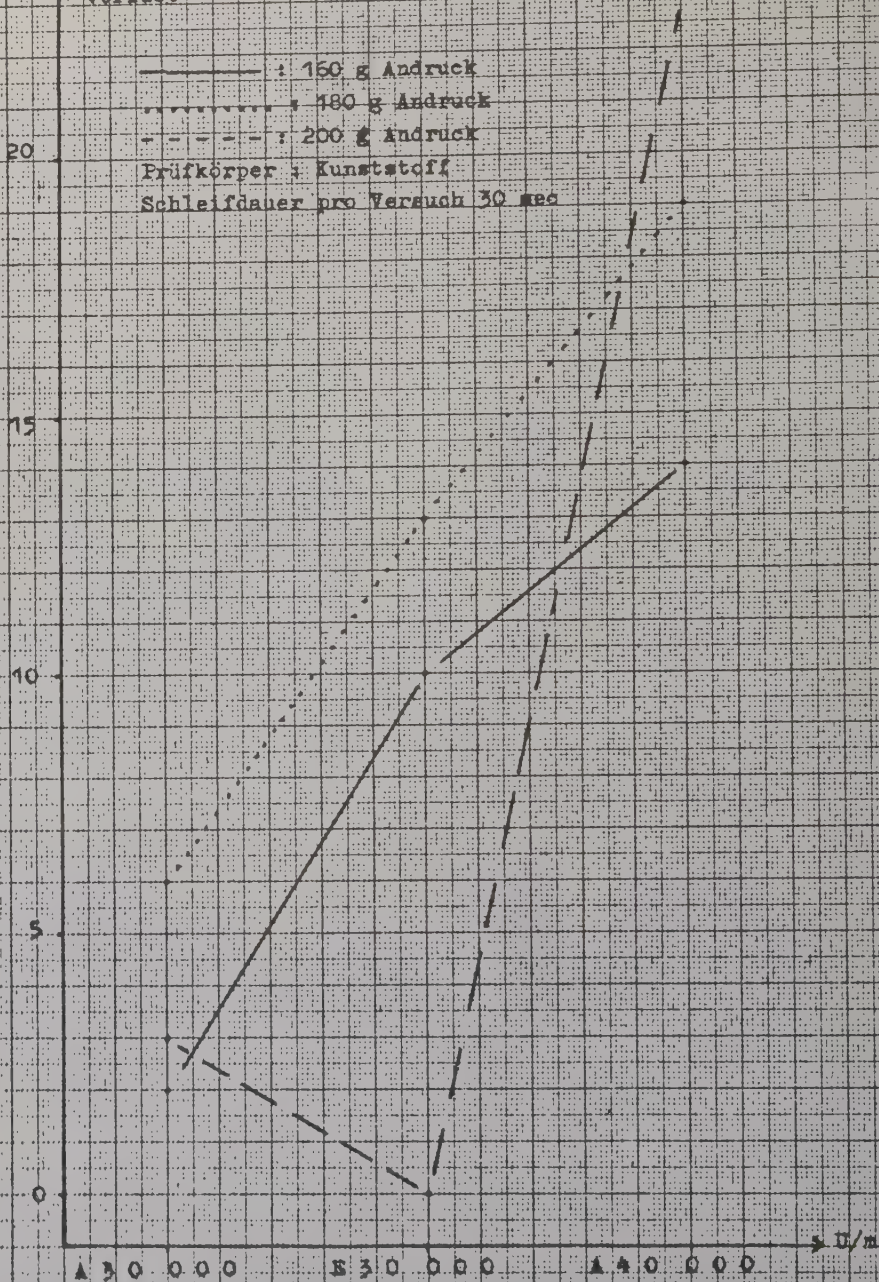
20
15
10
5
0

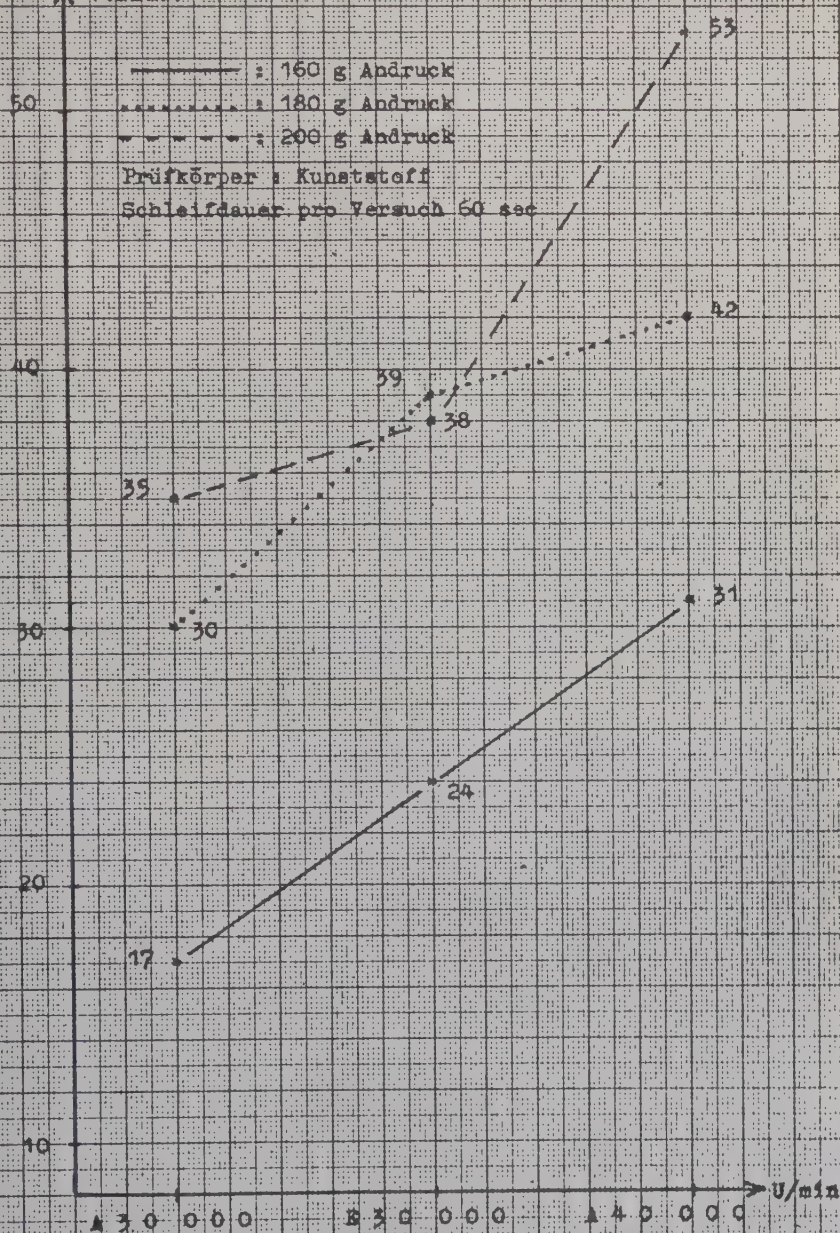
A 30 000

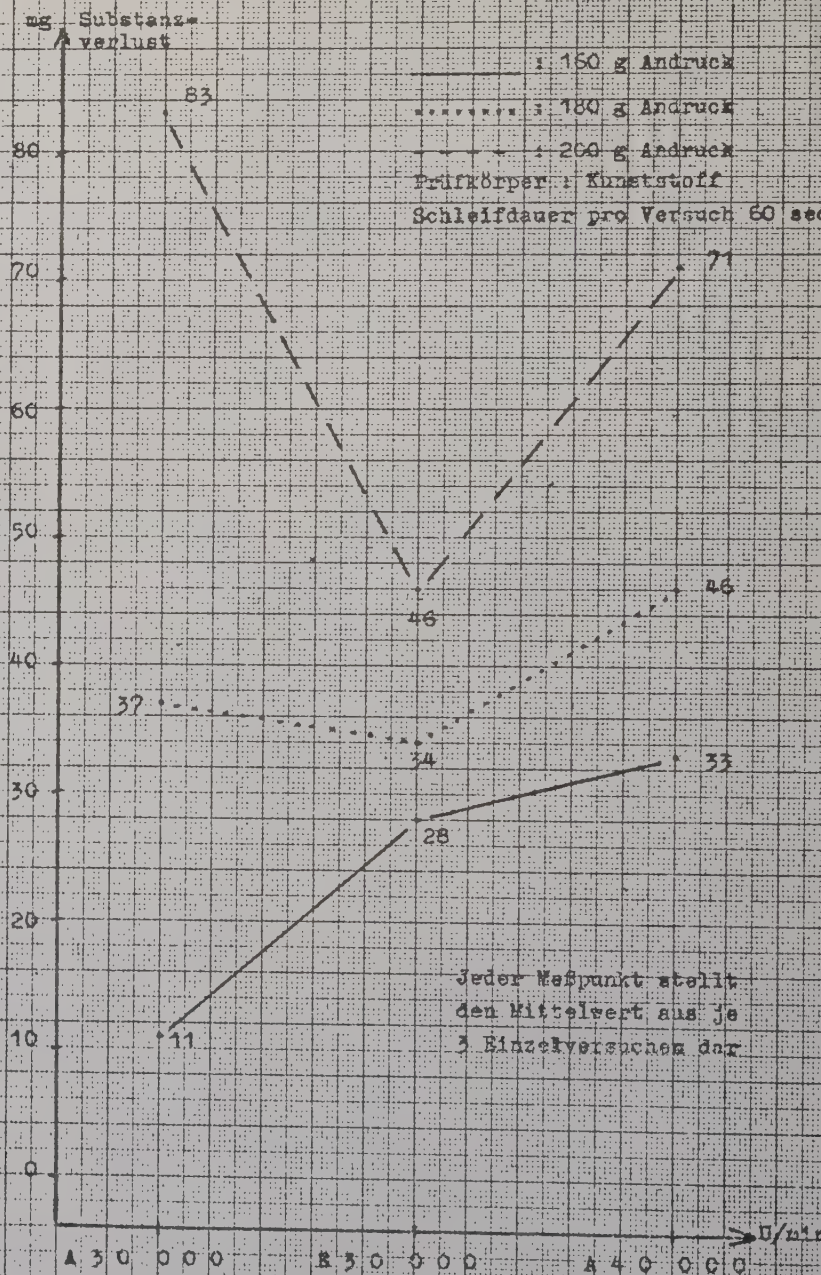
B 30 000

A 40 000

U/m



mg Substanz-
verlust



mg Substanz-
verlust

46

45

40

37

35

30

28

27

Ein Schleifer für 5 Versuche

à 60 sec

Drehzahl : E 3 0 0 0 0 U/min

Andruck : 180 g

Prüfkörper : Kunststoff

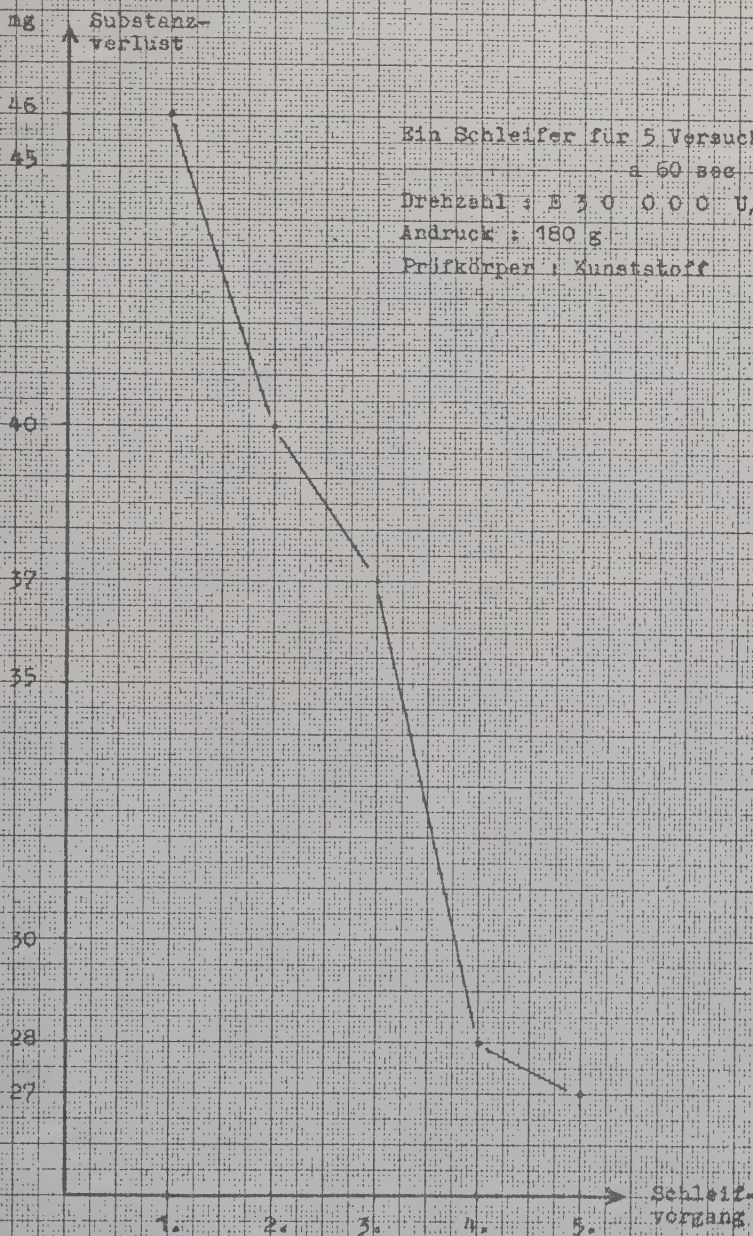
1.

2.

3.

4.

5.

Schleif-
vorgang

Ein Schleifer für 5 Versuche
a 60 sec

Drehzahl: 3000 U/min

Andruck: 180 g

Prüfkörper: Kunststoff

Substanz-
verlust

46

40

37

30

28

27

20

10

1.

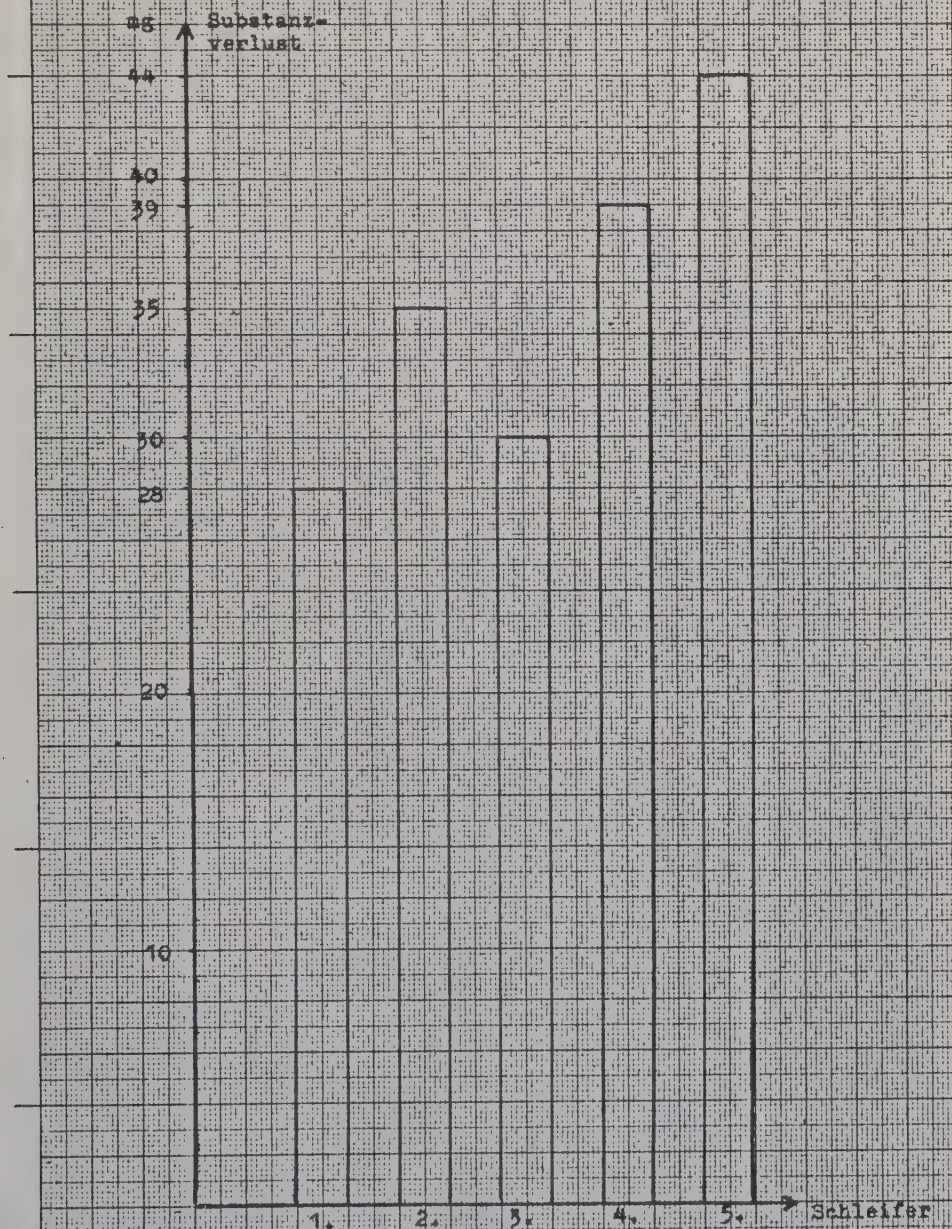
2.

3.

4.

5.

Schleif-
vorgang



Fünf Schleifer für je einen Versuch à 60 sec

Drehzahl : 3 0 0 0 0 U/min

Andruck : 100 g

Prüfkörper : Kunststoff

mg ASubstanz-
verlust

Graphische Darstellung 12

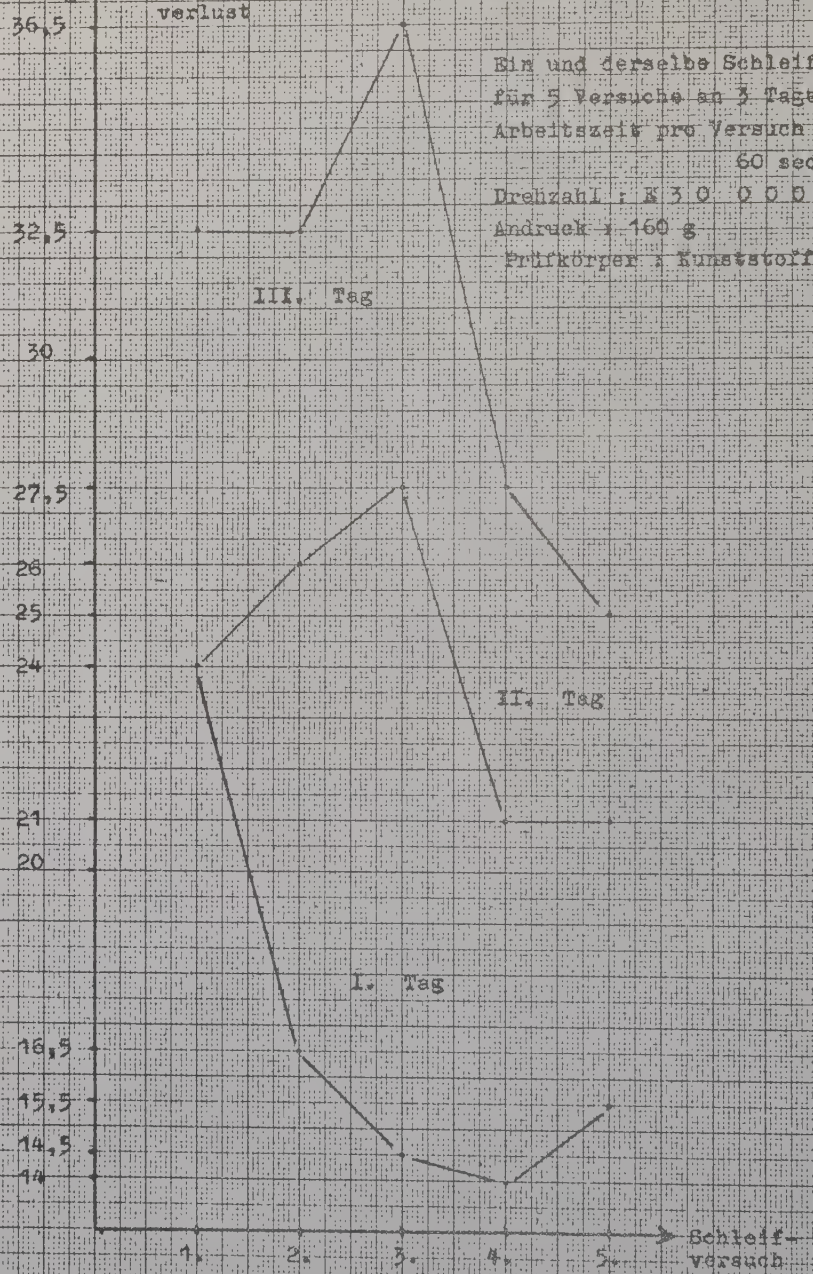
Ein und derselbe Schleifer
für 5 Versuche an 3 Tagen
Arbeitszeit pro Versuch

60 sec

Drehzahl : $\approx 30000 \text{ U/min}$

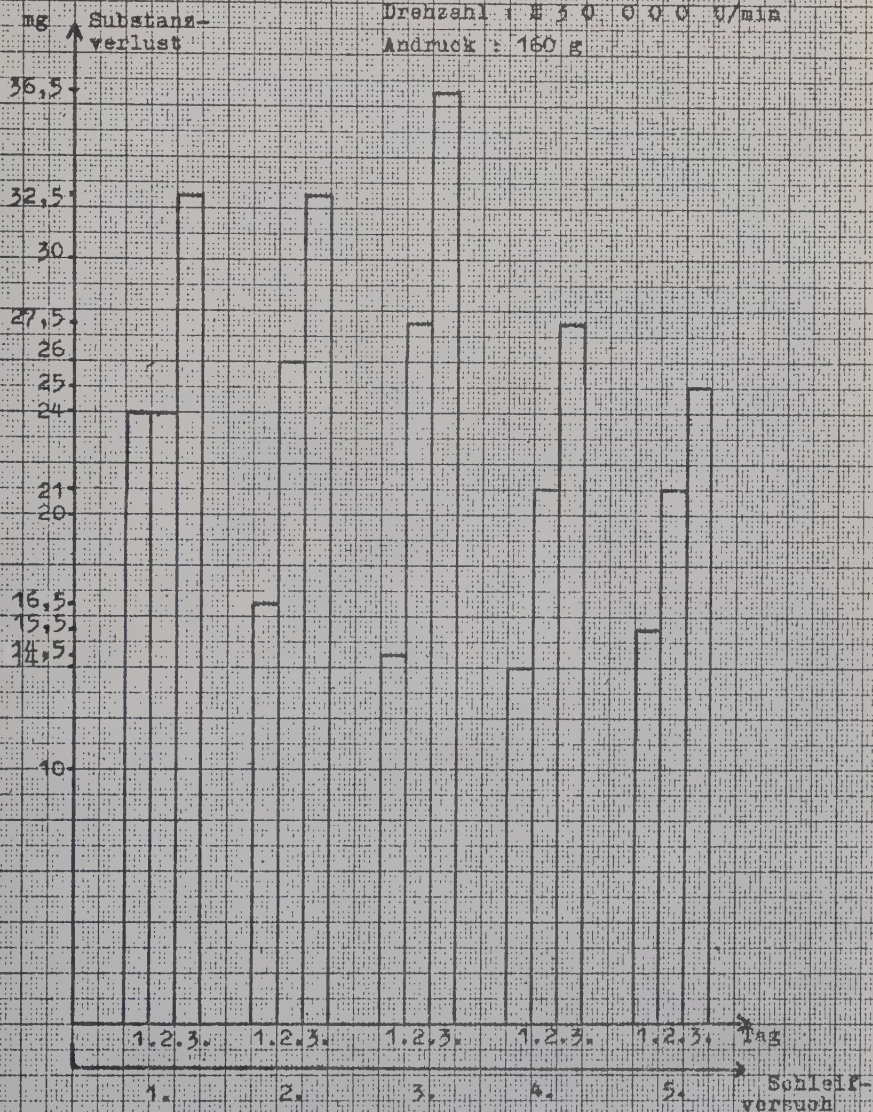
Andruck : 160 g

Prüfkörper : Kunststoff



Graphische Darstellung 12a
Ergänzung zur graphischen Darstellung 12

Ein und derselbe Schleifer für
5 Versuche an 3 Tagen
Arbeitszeit pro Versuch 60 sec
Drehzahl : 250 000 U/min
Andruck : 160 g



Prüfkörper : Zähne

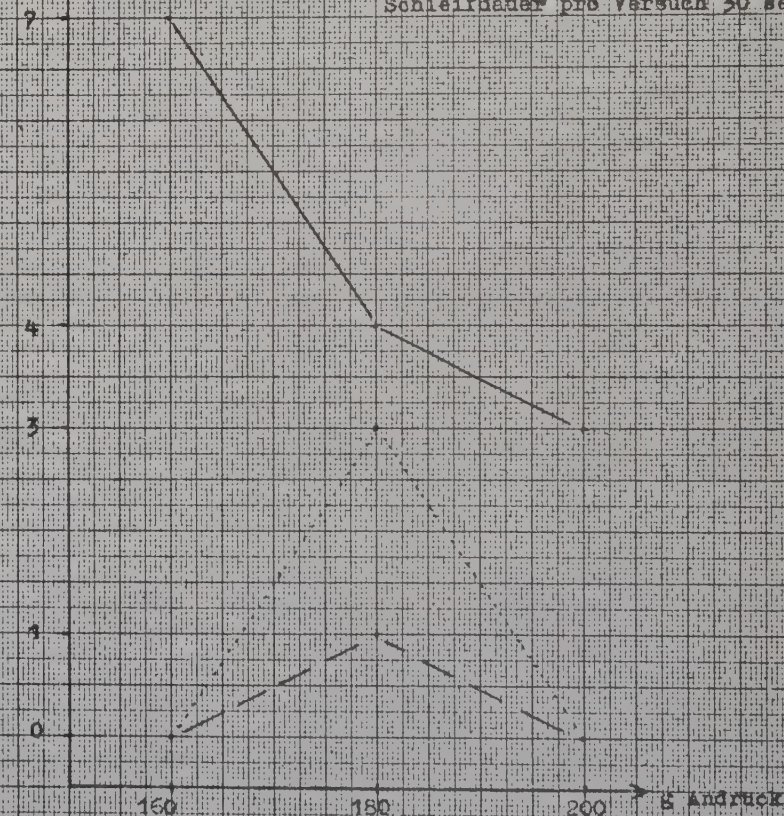
mg Substanz-
verlust

— 14 000 U/min

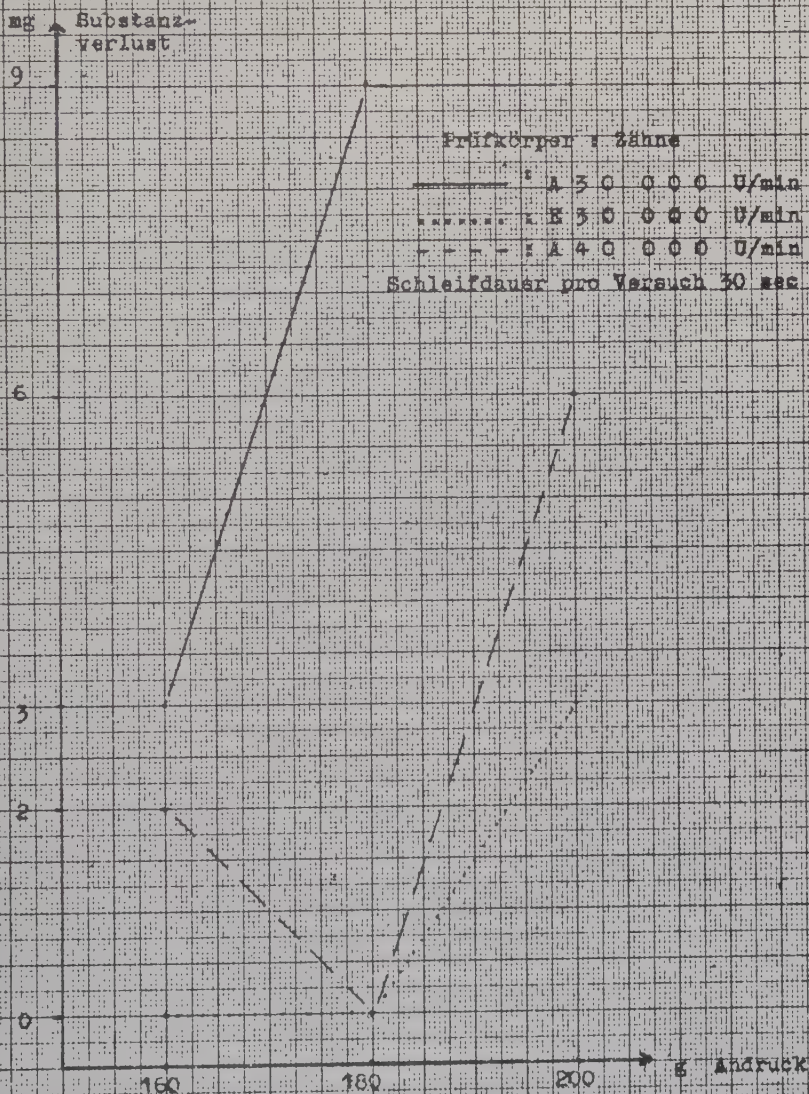
- - - 24 000 U/min

- - - 46 000 U/min

Schleifdauer pro Versuch 30 sec



GRÖßERE DREHZAHLSBEREICH



BLAUER DREHZAHLBEREICH

mg Δ Substanz-
verlust

64

60

62

60

54

40

35

28

20

0

Prüfkörper : Zähne

— : 80 000 U/min

- - - : 580 000 U/min

Schleifdauer pro Versuch 30 sec

s Andruck

160

180

200

ROTIER DREHZAHLEBEREICH

mg Substanz-
verlust

Graphische Darstellung 16

23

19

14

13

10

6

3

0

Prüfkörper v Kunststoff

— : A 3 0 0 0 0 U/min

..... : B 3 0 0 0 0 U/min

- - - : A 4 0 0 0 0 U/min

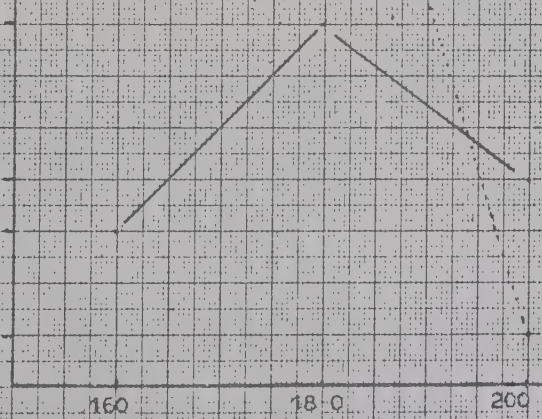
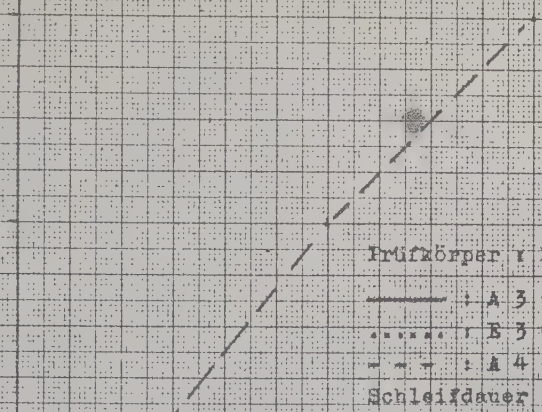
Schleifdauer pro Versuch 30 sec

160

180

200

% Andruck



mg Substanz-
verlust

53

50

42

40

39

38

35

31

30

24

20

17

10

Prüfkörper : Kunststoff

— A 30 000 U/min

..... B 30 000 U/min

- - - - - C 10 000 U/min

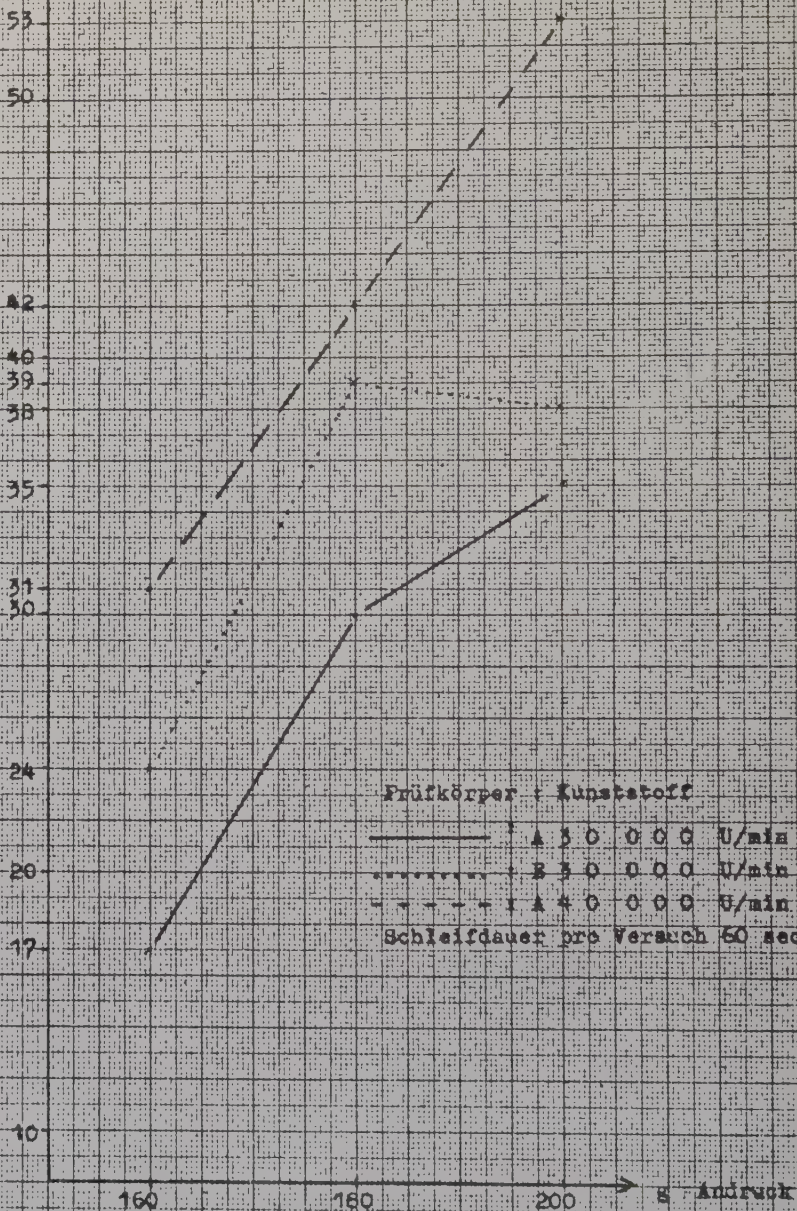
Schleifdauer pro Versuch 60 sec

160

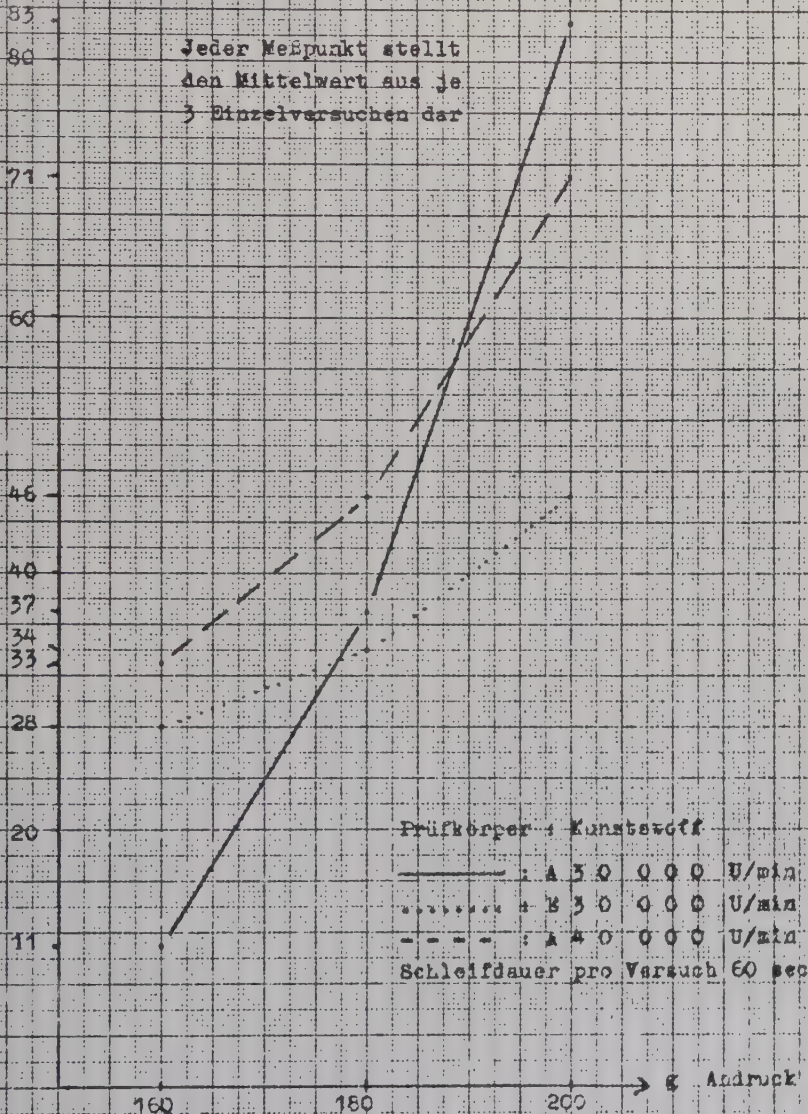
180

200

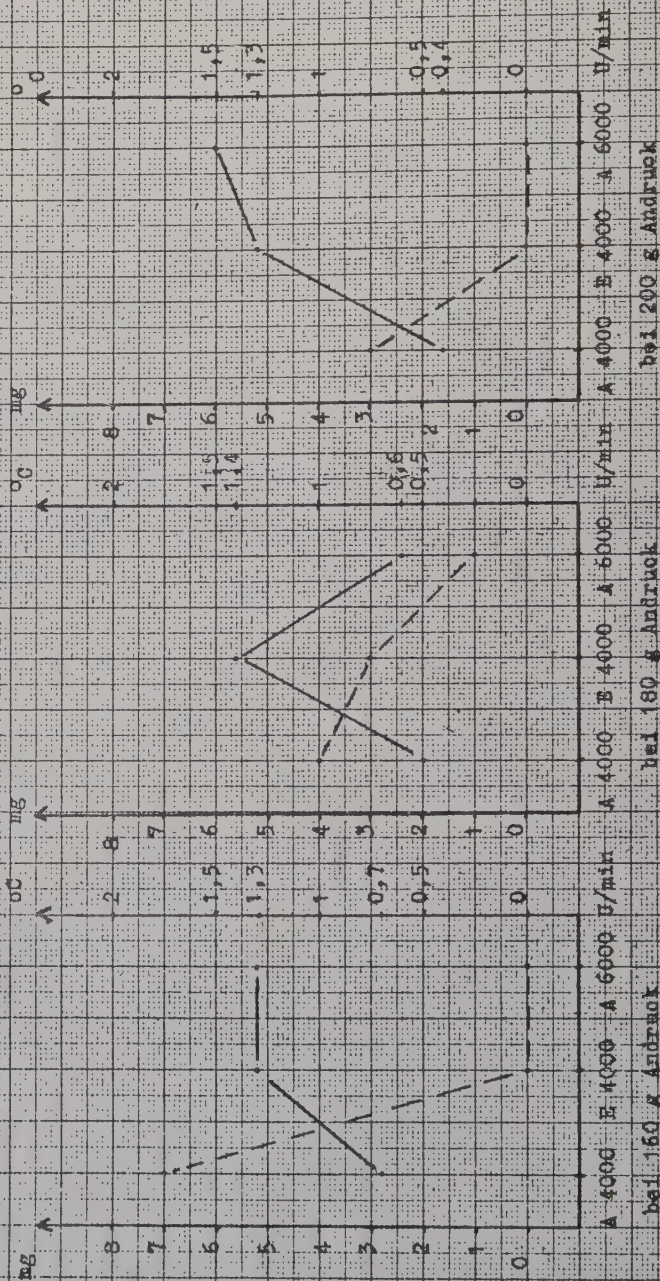
g Andruck



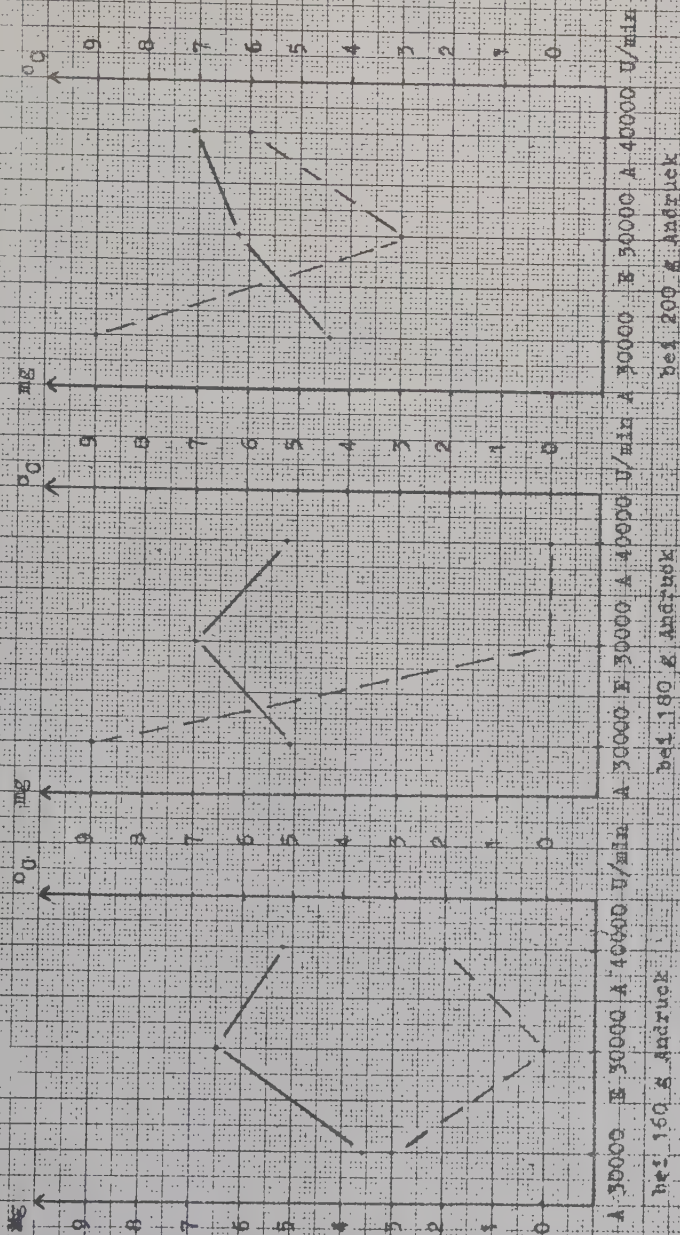
mg Substanz-
verlust



GRÜNER DREI-ZAHLENBEREICH

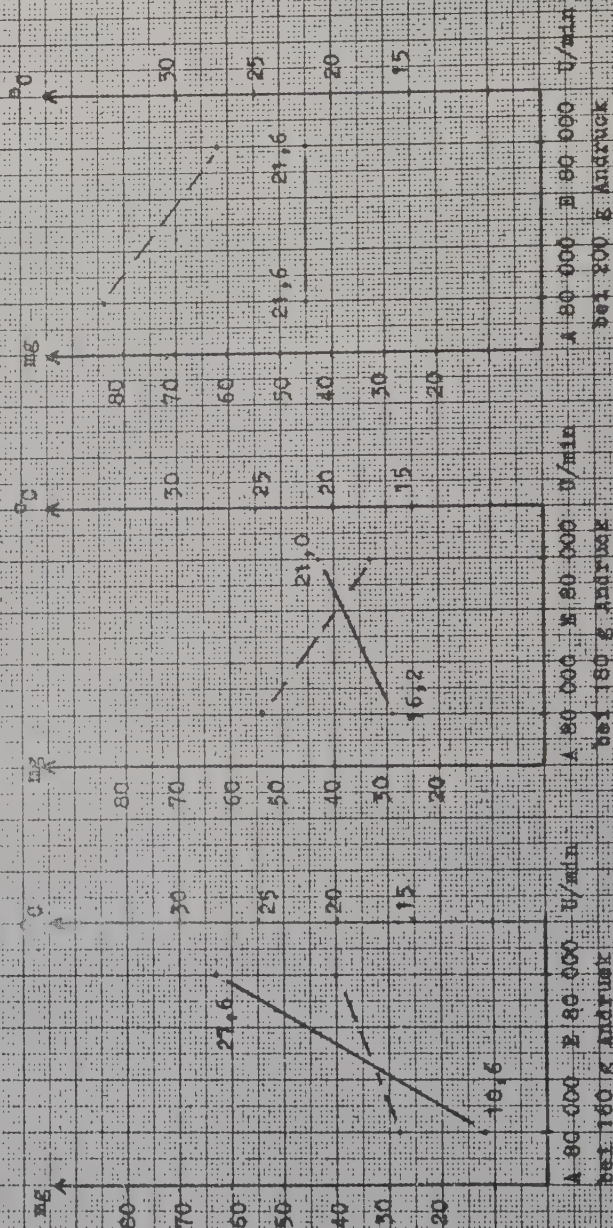


BLAUER DREHZAHLEBEREICH



Temperatur in °C
Substanzverlust in mg

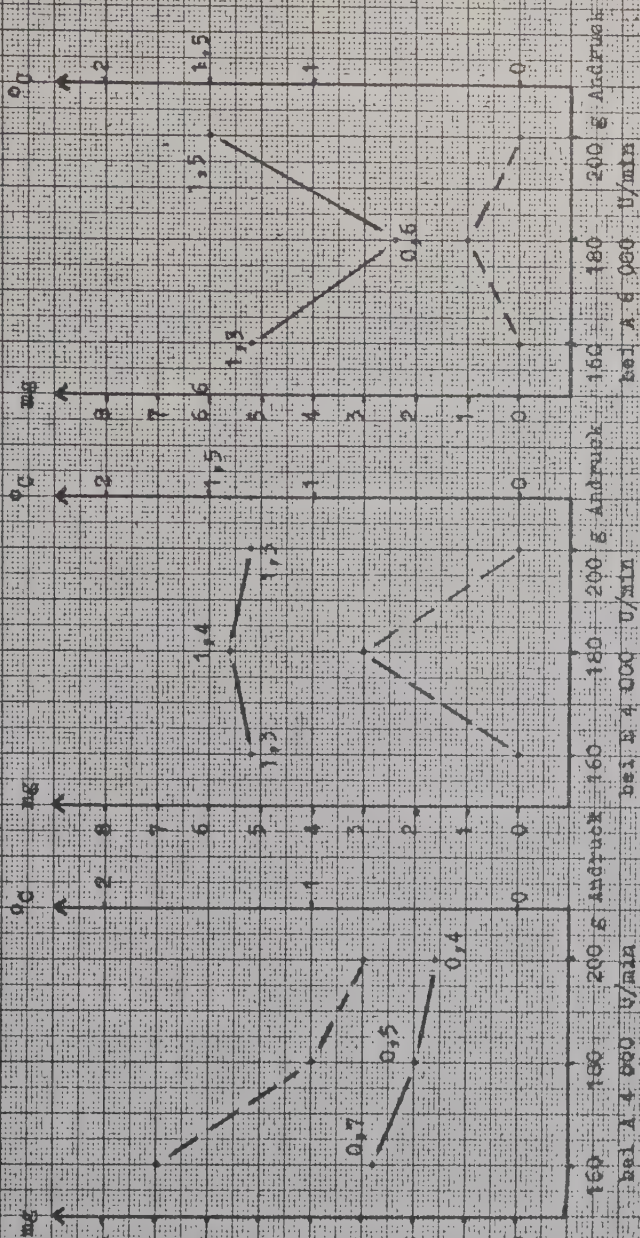
ROTER DEUTSCHENREICH



OF ALABAMA

2017年12月15日

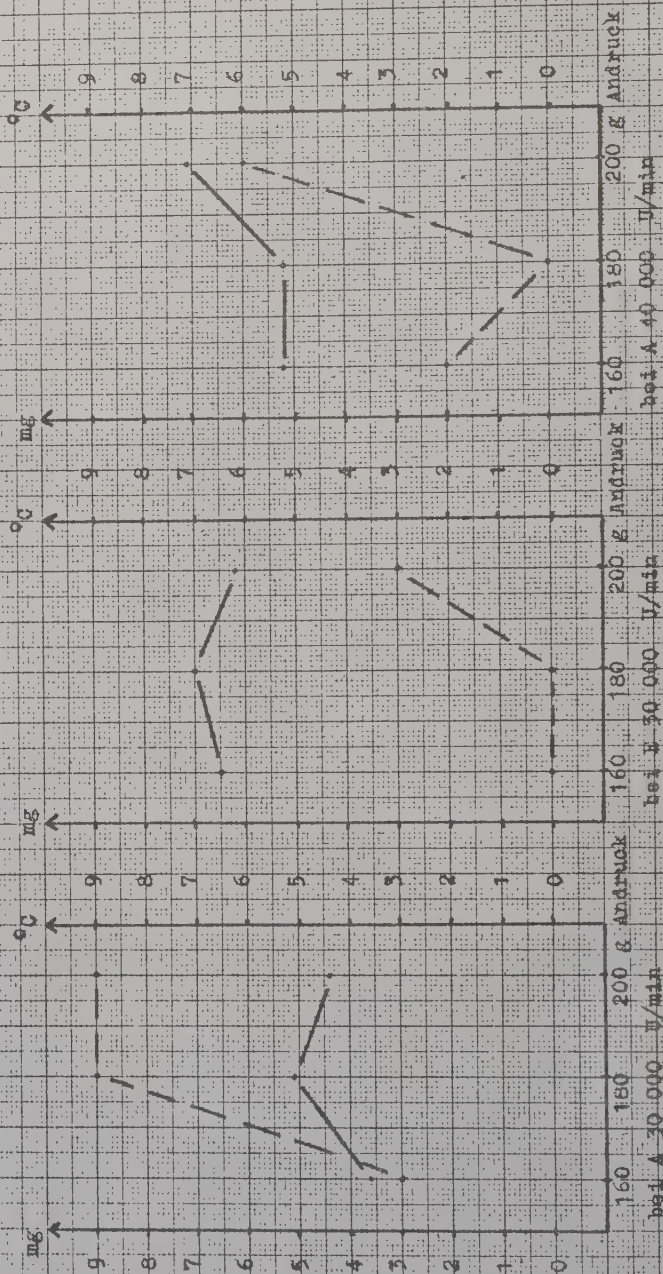
GRÜNER DEFEZALHYPERETON



— : Temperatur in °C

- - - : Substanzverlust in mg

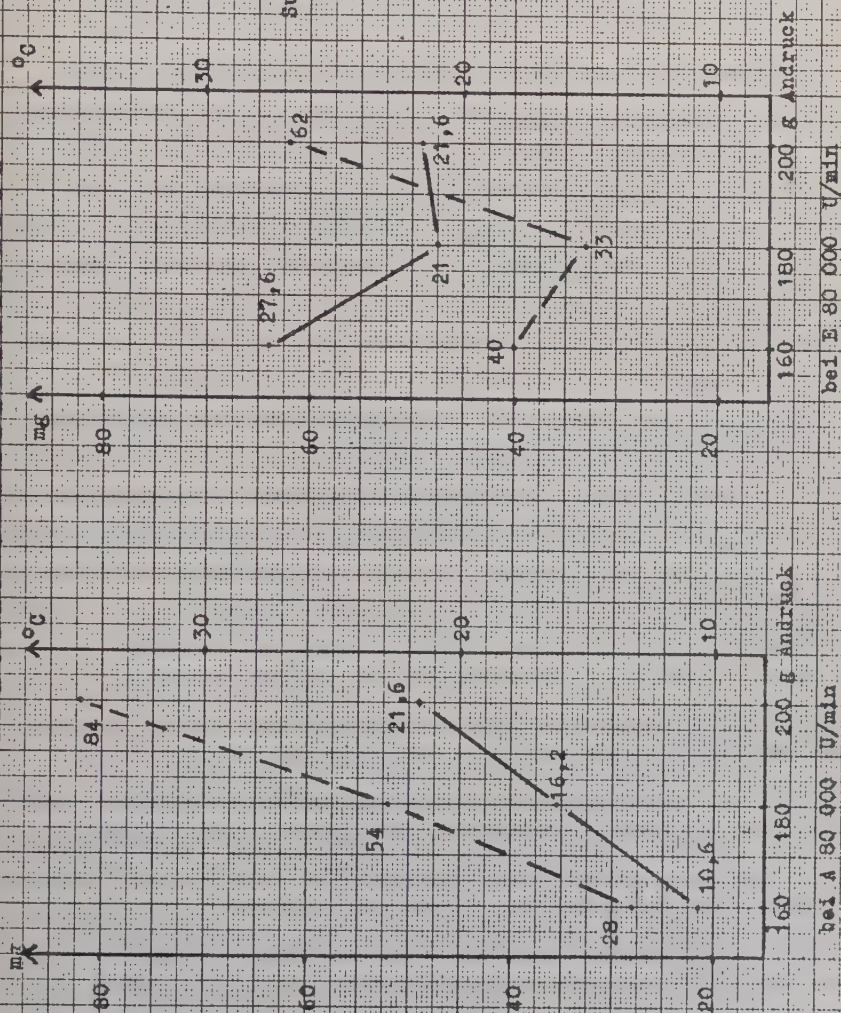
BLAUER DREHZAHLBEREICH



— Temperatur in °C

- - - Substanzverlust in mg

ROTHER DREHZAHLBEREICH



VI. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die bei zahnärztlichen Präparationsvorgängen auftretenden Probleme experimentell aufzuzeigen. Für die Versuche stand ein neuentwickeltes zahnärztliches Antriebsaggregat in Form des Mikromotors zur Verfügung.

Ein Überblick zur Entwicklung zahnärztlicher Präparationsinstrumente zeigt, daß in den letzten zehn Jahren vor allem eine Steigerung der Drehzahlen (1950: 40 000 U/min, 1956: 100 000 U/min, 1960: 300 000 U/min, 1967: 600 000 U/min) erstrebt wurde. Wie am Beispiel des Mikromotors gezeigt werden kann, sollen auch auf dem Gebiete der maschinengetriebenen Bohrmaschinen neue Wege gefunden werden, die als Ersatz und Ergänzung zu den luftgetriebenen Instrumenten dienen können.

Eine Literaturübersicht verdeutlicht das Bestreben vieler Autoren, die durch die hohen Drehzahlen bedingten technischen und biologischen Probleme zu klären. Die hierbei festzustellende Diskrepanz in der Durchführung, Auffassung und Deutung der klinischen und experimentellen Untersuchungen führte zur Konstruktion einer Versuchseinrichtung, die mit dem Mikromotor reproduzierbare experimentelle Untersuchungen zulassen sollte.

Dabei können die Ergebnisse über Drehzahl- und Temperaturmessung am Mikromotor folgendermaßen zusammengefaßt werden:

1. Die Messungen im Leerlauf und bei Andrücken von 20 - 120 g in Stufen von 20 g ergaben im niedrigen (600 - 6 000 U/min) Drehzahlbereich relativ große Schwankungen, die das Dreifache der vorgegebenen Drehzahl erreichten. Bei Belastung traten im niedrigen Drehzahlbereich unterschiedliche Schwankungen auf. Ein reproduzierbares Ergebnis läßt sich hierbei nicht sichern. Im hohen und

höchsten Drehzahlbereich (4 000 - 120 000 U/min) führten Andrucke nur zu geringen Drehzahlschwankungen, die zum Teil die Leerlaufdrehzahlen überstiegen.

2. Experimentelle Temperaturmessungen am Mikromotor ergaben, daß nach 15 Minuten Schleifdauer die Temperatur an der Außenwand auf $42,2^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ gestiegen war.

Die Ergebnisse der Schleifversuche, bei denen Drehzahlen und Andrucke stets verändert und die Schleifleistung und Temperatur im Pulpenkavum gemessen wurde, lassen sich zusammenfassen:

1. Die Schleifleistung beim zahnärztlichen Präparieren hängt in erster Linie vom Gefüge der diamantierten Schleifer ab. Die Leistung gleicher Schleifer schwankt schon in unbenütztem Zustand. Ein Erholungseffekt 24 Stunden nach den Versuchen kann nachgewiesen werden.

2. Eine Erhöhung der Drehzahlen führt zu höheren Schleifleistungen. Es führte z.B. bei Versuchen an Zähnen eine Erhöhung der Drehzahlen von 4 000 U/min auf 30 000 U/min eine Zunahme der Schleifleistung um 6 mg herbei. Die weitere Erhöhung auf 80 000 U/min ergab eine Zunahme der Schleifleistung um 75 mg. Es wurde jeweils bei 200 g Andruck, 30 sec Schleifdauer pro Versuch und je einem neuen Schleifer gemessen.

3. Eine Erhöhung der Andrucke bedingt eine Zunahme der Schleifleistung. So führte bei A 30 000 U/min die Druckerhöhung von 160 g auf 180 g zu einer Zunahme der Schleifleistung von 26 mg. Die Druckerhöhung von 180 g auf 200 g erbrachte eine Steigerung von 46 mg.

4. Bei konstanten Andrücken und zunehmenden Drehzahlen zeigt sich im allgemeinen ein deutlicher Temperaturanstieg. Z.B. führte bei 200 g Andruck die Drehzahlerhöhung von E 30 000 U/min auf A 40 000 U/min zu einer Temperaturzunahme von $0,9^{\circ}\text{C}$.

5. Ein Vergleich einzelner Drehzahlbereiche zeigt, daß eine Erhöhung der Drehzahl eine Temperaturzunahme hervorruft. Es ergab sich bei 200 g Andruck ein Anstieg des Temperaturmittelwertes vom

niederen (600 - 6 000 U/min) zum mittleren (4 000 - 40 000 U/min) Drehzahlbereich von 4,83 °C und vom mittleren zum hohen (12 000-120 000 U/min) Drehzahlbereich ein weiterer Temperaturanstieg um 15,7 °C.

6. Eine Abhängigkeit zwischen der beim Präparieren entstehenden Temperatur im Pulpenkavum und der Schleifleistung konnte nicht signifikant nachgewiesen werden.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse lassen den Schluß zu, daß die Exaktheit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse mehr durch die Versuchseinrichtung, das Material und die Instrumente bestimmt wird, als durch das jeweils eingesetzte Antriebsaggregat.

VII. Literaturübersicht

1. Adler, F.: Der Einfluß von Vorschubkraft und Drehzahl (5 000 - 160 000 U/min) beim Fräsen von Amalgam und Elfenbein mit Hartmetallbohrern (Fräsern).
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 71 - 77 (1960)
2. Atkinson, H.F.: An investigation into the hardness of human enamel.
Saunbury, Ph.: Brit. Dent. J. 94, 249 - 253 (1953)
3. Bohlmann, A.: Untersuchungen zur Spannung der Zahnhartsubstanzen mit umlaufenden Werkzeugen in verschiedenen Drehzahlbereichen und bei unterschiedlichen Vorschubkräften.
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 87 - 93 (1960)
4. Claessens, C.P.D.: Diamantinstrumente.
Dtsch. Zahnärztebl. 13, 334 - 340 (1959)
5. Eichner, K.: Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen zum hoch- und höchsttourigen Bohren und Schleifen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 192 - 209 (1960)
6. Eichner, K.: Umdrehungsgeschwindigkeiten der maschinen- und luftgetriebenen Bohrgeräte.
Dtsch. Zahnärztekalendar 18, 254 - 258 (1959)
7. Eichner, K.: Untersuchungen über den Einfluß der Luftreibung von Präparationsinstrumenten auf die Drehzahl von Turbinen.
Zahnärztl. Rdsch. 74, 125 - 130 (1956)
8. Eichner, K.: Untersuchungen zum hochtourigen Bohren und Schleifen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 591 - 600 (1959)
9. Fechner, U.: Temperaturmessungen an Zahnhartsubstanzen beim normalen und höchsttourigen Bohren (Fräsen).
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 135 - 146 (1963)
10. Fuhr, K.: Das Für und Wider des hoch- und höchsttourigen Schleifens.
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 951 - 960 (1964)

22. Hofmann, M.: Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum beim Beschleifen der Zähne.
Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 472 - 478 (1959)
23. Hofmann, M.: Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum und an der Schnittfläche bei der Präparation der Zahnhartsubstanzen unter Verwendung der Turbine.
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 584 - 590 (1961)
24. Klos, H.: Experimentelle Untersuchungen zum Temperaturproblem beim höchsttourigen Bohren und Schleifen mit Turbinengeräten.
Rottke, R.: Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 1659 - 1679 (1960)
25. Mayer, A.: Die Bedeutung experimenteller und klinischer Untersuchungen über die hohen und höchsten Drehzahlen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 520 - 528 (1964)
26. Müller, O.: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Wassermenge auf die Schleifleistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper.
Med. Diss., Mainz 1956
27. Richter, J.: Ein Beitrag zur Temperaturmessung im Zahn Stüben, J.: mit experimentellen Untersuchungen über die Temperaturleitfähigkeit der Zahnhartgewebe sowie verschiedener zahnärztlicher Zemente und Kunststoffe.
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 947 - 952 (1962)
28. Norlen, I.: Luftdriven bormaskin med manuell hastighetsregulator för alls hastigheter upp till 50 000 varo per minut.
Svensk tandläk.-tskr. 49, 553 (1958)
29. Polmann-Mooy, A.C.: Temperaturmessungen in Zahnhartsubstanzen beim normal-, hoch- und höchsttourigen Schleifen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 130 - 135 (1963)
30. Polmann-Mooy, A.C.: Vergleichende Messungen der Temperaturerhöhung in Zahnhartsubstanzen beim höchsttourigen Schleifen unter Berücksichtigung der hoch- und normaltourigen Bereiche.
Med. Diss., Berlin 1961
31. Ring, A.L.: Technik des Bohrens und Schleifens.
Zahnärztl. Praxis 16, 149 - 150 (1965)

32. Sänger, G.: Experimentelle Untersuchungen über die Streuung der Schleifleistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper.
Med. Diss., Mainz 1955
33. Scheer, K.: Experimentelle Untersuchungen über das Arbeiten mit zahnärztlichen Bohrern bei hohen Drehzahlen.
Med. Diss., Mainz 1957
34. Schepers, H.: Bohren am Zahn und Kieferknochen mit Tourenzahlen bis 350 000 U pro min.
Med. Diss., Mainz 1959
35. Schwartz, K.E.: Zerspanungsablauf und Schleifergebnisse beim Auenrundscheifen.
Diss., TH Aachen 1959
36. Stein, U.: Die thermischen und mechanischen Einflüsse auf die Zahnhartsubstanzen menschlicher Zähne durch normal-, hoch- und höchst-tourige Präparation.
Med. Diss., Berlin 1963
37. Stroh, W.: Schleifleistung zahnärztlicher Diamanten bei hohen und höchsten Umdrehungen.
Dtsch.zahnärztl. Z. 15, 77 - 80 (1960)
38. Stuart, H.A.: Kurzes Lehrbuch der Physik.
2. und 3. Auflage, Berlin 1949
39. Stben, J.: Grundlagen der Temperaturmessung im Zahn.
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 314 - 316 (1961)
40. Thiel van, H.: Zur sogenannten Wärmestauung unter Kunststoffprothesen.
Kltzer, W.: Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 113 - 119 (1962)
41. Thiel, K.: Experimentelle Untersuchungen über die Abhängigkeit der Leistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper von Umdrehungsgeschwindigkeit und Druck.
Med. Diss., Mainz 1956
42. Wallau, G.: Vergleichende Untersuchungen über die Temperaturentwicklung beim Schleifen mit zahnärztlichen Diamanten in Abhängigkeit von Tourenzahl und Druck.
Med. Diss., Mainz 1957

43. Walser, G.: Experimentell-physikalische Untersuchungen über das Bohren und Schleifen mit turbinengetriebenen Instrumenten bei höchsten Drehzahlen.
Zahnärztl. Welt 61, 107 - 111 (1960)
44. Walter, H-G.: Messungen mit Thermoelementen im Pulpenkavum extrahierter Zähne
Leineweber, G.: bei Airotor-Präparation.
Schweiz. Mschr. Zahnheilkd. 70, 415 - 423
(1960)
45. Weder, M.: Über Veränderungen der Pulpa des menschlichen Zahnes nach Bearbeitung mit diamantbelegten Schleifkörpern unter Verwendung von Bohrgeräten aller Umdrehungsbereiche.
Med. Diss., Mainz 1960
46. Westphal, W.H.: Physik.
22. - 24. Auflage, Berlin 1963
47. Wupper, H.: Theorie und Praxis des zahnärztlichen Bohrens und Schleifens.
Zahnärztl. Welt 65, 162 - 167 (1964)

Herrn Priv. Doz. Dr. K. Fuhr möchte ich für die Anregung und die Überlassung des Themas meiner Dissertation herzlichen Dank sagen. Ebenso danke ich ihm für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Versuche und bei der Abfassung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. F. Jung danke ich ganz herzlich für sein Entgegenkommen, das Korreferat zu meiner Arbeit zu übernehmen.

Lebenslauf

Am 26. Januar 1944 wurde ich, Gerhard Haller, zu Besigheim in Baden-Württemberg als Sohn des Zahnarztes Dr. Erwin Haller und seiner Ehefrau Lore, gebürtige Kittel, geboren.

Meine Schulzeit begann 1950 in Besigheim mit der Volksschule und wurde am Progymnasium, wo ich die Mittlere Reife erreichte, fortgesetzt. Anschließend besuchte ich das Gymnasium in Bietigheim und bestand im März 1963 die Reifeprüfung.

Es folgte unmittelbar ein Semester an der Pädagogischen Hochschule in Reutlingen.

Im Wintersemester 1963/64 konnte ich mich für das Studium der Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz immatrikulieren lassen. Hier legte ich nach fünf vorklinischen Semestern im April 1966 die Zahnärztliche Vorprüfung ab.

Ebenfalls in Mainz beabsichtige ich nach dem Sommersemester 1968 mein Staatsexamen abzulegen.

